

DER PHYSIK UND CHEMIE.

BAND LXV.

I. *Hygrometrische Studien;**von Hrn. V. Regnault.*

(Schluß von S. 158.)

Zweiter Theil. Von den angewandten Verfahrensweisen zur Bestimmung der Sättigungsstufe der Luft.

Ich unterscheide vier Hauptmethoden, mittelst deren man diese Bestimmung ausführen kann: 1) die chemische Methode, 2) die Methode der Hygrometer aus organischen Substanzen, die sich durch Feuchtigkeit verlängern, 3) die Methode der Condensations-Hygrometer, und 4) die Methode des Psychrometers, d. h. der gleichzeitigen Beobachtung zweier Thermometer, eines mit trockener, und eines mit benäsfter Kugel.

I. Chemische Methode.

Nach den Einzelheiten, in die ich S. 148 u. ff. eingetreten bin, um die von mir unternommenen Versuche zur Bestimmung des bei Sättigung in der Luft enthaltenen Wassergewichts zu erläutern, habe ich über die chemische Methode wenig zu sagen. Wendet man diese Methode an, um die Menge der an einem gegebenen Ort in der Luft enthaltenen Feuchtigkeit zu bestimmen, so muß man die Luft dieses Orts mittelst einer langen Röhre in die Trockenröhren aufsaugen. An demselben Ort stellt man ein sehr empfindliches Thermometer auf, und beobachtet dasselbe von weitem mittelst eines Fernrohrs von fünf zu fünf Minuten. Die Aenderungen der Temperatur sind insgesamt größer und rascher als bei den Ver-

suchen mit dem Staucher, S. 152, und es ist oft nöthig, das Ausfließen aus dem Aspirator zu beschleunigen.

Die chemische Methode giebt nicht die Menge Feuchtigkeit, die zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Luft vorhanden ist, sondern die mittlere Menge, welche die Luft während des Versuchs enthält. Uebrigens ist diese Methode ganz strenge, und zum Studium des Ganges anderer Hygrometer sehr nützlich. Belege dazu werden wir sehen, wann wir uns mit dem Hygrometer beschäftigen. Allein sie ist zu umständlich, als daß sie in meteorologischen Observatorien oft angewandt werden könnte.

II. Von den Hygrometern aus organischen Substanzen oder den Absorptions-Hygrometern.

Sehr viele organische Substanzen verlängern sich beträchtlich, wenn die Feuchtigkeit in der Luft zunimmt, und verkürzen sich, wenn sie abnimmt. Diese Eigenschaft hat man benutzt, um Instrumente zu construiren, die den Feuchtigkeitsgrad der Luft unmittelbar angeben. Man hat zu diesem Behufe die mannigfachsten Substanzen vorgeschlagen; allein alle diese Instrumente sind mehr Hygroskope als Hygrometer. Sie leiden an dem wesentlichen Mangel, nicht vergleichbar zu seyn, und deshalb hat man sie verlassen.

Nur das Haarhygrometer ist der allgemeinen Vergessenheit entgangen, Dank der Ausdauer seines Erfinders, der zahlreiche Versuche unternahm, um es vergleichbar zu machen, und ihm eine Skale zu geben, nach welcher man die Sättigungsstufe der Luft berechnen kann.

Das Saussure'sche Hygrometer hat sich in den ersten Jahren einer großen Gunst unter den Physikern erfreut; allein die Einwürfe kamen hinterher. Man warf dem Instrumente vor, es sey äußerst zerbrechlich, und seine Graduierung komme mit der Zeit in Unordnung. Einige Physiker behaupteten gar, das Haar verliere seine Empfänglichkeit mit der Zeit vollständig. Dazu kam, daß

nach dem Tode Saussure's die Künstler bald die Ueberlieferungen dieses geschickten Physikers vergaßen, und die wichtigsten seiner Vorschriften bei Seite setzten.

Indefs besitzt das Saussure'sche Hygrometer für meteorologische Beobachtungen so große Vorzüge vor den übrigen hygrometrischen Methoden, daß ich ungeachtet der sehr starken Vorurtheile, die ich gegen dasselbe hegte, doch nicht anstand, durch gehörige Versuche mich zu überzeugen, bis wie weit es genaue Angaben liefere.

Ich werde in wenig Worten Saussure's Vorschriften zur Construction des Haarhygrometers aufzählen.

Man muß feine, weiche, nicht krause Haare nehmen, geschnitten von einem lebenden und gesunden Kopf. Um sie zu entfetten, macht man daraus ein Päckchen von der Dicke eines Federkiels, näht dasselbe in Leinwand ein, und läßt es in einem langhalsigen Kolben mit 1 Loth Wasser und 10 Grm. krystallisirter Soda kochen. Man unterhält das Sieden 30 Minuten lang, nimmt darauf den Sack heraus, und wäscht darin die Haare mehrmals einige Minuten lang mit reinem Wasser. Nun schneidet man den Sack auf, nimmt die Haare heraus, und schwenkt sie in einem großen Gefäß mit kaltem Wasser hin und her, um die Waschung zu vollenden, und sie von einander abzulösen. Endlich hängt man sie auf und trocknet sie.

Die wohl ausgelaugten Haare sind sauber, weich, glänzend, durchscheinend und nicht an einander haftend.

Das Gewicht, welches das Haar spannt, darf nicht 0,2 Grm. übersteigen. Saussure bemerkt, daß ein nur mit 0,6 Grm. belastetes Haar zwar anfangs ziemlich regelmäßig geht, sich aber nach einiger Zeit auszieht, und dann einen unregelmäßigen Gang annimmt.

In den gewöhnlichen tragbaren Hygrometern beträgt die Länge des Haars 24 Centimeter, und die Rolle, um welche es geschlungen ist, hat etwa 5 Millimeter Durchmesser.

Den Punkt der äußersten Feuchtigkeit bestimmt man,

indem man das Instrument unter eine inwendig benähte Glocke bringt.

Um den Punkt der äußersten Trockenheit zu erhalten, empfiehlt Saussure, Weinstein auf ein cylin-
derförmig gekrümmtes Blech zu streuen, und auf dem-
selben zu glühen, wodurch sich dann das Blech mit einer
Schicht von dem sehr wassergierigen kohlen-sauren Kali
überzieht. Man bringt nun das Blech unter eine recht
trockene Glocke, und hängt mitten darin das Hygrome-
ter auf.

Der Abstand zwischen dem Punkt der äußersten
Trockenheit und dem der äußersten Feuchtigkeit wird
in 100 Grade getheilt.

Gegenwärtig hält man sich bei der Construction des
Instruments, was die Dimensionen der Theile desselben
betrifft, so ziemlich an die Vorschriften Saussure's;
allein man belastet das Instrument stärker, oft mit einem
bis zu 1,8 Grn. steigenden Gewicht, welches mehr als
drei Mal so groß ist wie das, welches Saussure als
Maximum angiebt. Diefes ist tadelnswerth, denn es er-
höht sicher die Unregelmäßigkeiten, welche man dem
Haarhygrometer vorwirft.

Ich habe an der Saussure'schen Construction nichts
Wesentliches zu ändern gefunden; nur glaube ich, es sey
besser, die Haare dadurch zu entfetten, daß man sie 24
Stunden in einer mit Aether gefüllten Röhre liegen läßt.
Man bewahrt dadurch den Haaren ihre ganze Haltbar-
keit, und sie erlangen beinahe dieselbe Empfindlichkeit,
wie wenn sie durch eine siedende Lösung von kohlen-
saurem Natron entfettet worden wären.

Den Punkt der Trockenheit bestimme ich, indem
ich das Hygrometer in einen Glas-cylinder bringe, auf
dessen Boden sich eine dicke Schicht concentrirter Schwe-
felsäure befindet, und den ich oben durch eine mattge-
schliffene, eingefettete Glasplatte hermetisch verschließe.
Ich finde, daß die concentrirte Schwefelsäure die voll-

ständige Austrocknung rascher bewerkstelligt als gebrannter Kalk oder Chlorcalcium; der Zeiger beschreibt zwei oder höchstens drei Grad. Bei den von mir angewandten Instrumenten ist die Graduirung des Kreises eine willkürliche, und ich bringe die beobachteten Theilpunkte durch Rechnung auf Hygrometergrade zurück.

Die Hygrometergrade zeigen nicht unmittelbar die Sättigungsstufen an. Die Beziehungen zwischen beiden kann man nicht anders als durch directe Versuche finden. Schon Saussure suchte eine derartige Tafel zu entwerfen. Später haben sich die HH. Dulong, Gay-Lussac und Melloni mit demselben Gegenstand beschäftigt, und die Elemente der Tafeln durch verschiedene Methoden bestimmt. Allein alle diese Tafeln beziehen sich auf das individuelle Hygrometer, welches gerade der Experimentator vor sich hatte, und es bleibt noch zu entscheiden, ob Instrumente, die von verschiedenen Künstlern oft unter sehr verschiedenen Umständen angefertigt wurden, dadurch allein unter sich vergleichbar sind, dass man ihre Festpunkte auf einerlei Weise bestimmt. Saussure behauptet, er habe zwischen zwei nach seiner Methode construirten Hygrometern niemals gröfsere Unterschiede als 3 bis 4 Grade beobachtet. Nimmt man dieses auch als richtig an für Instrumente, die, wie die von Saussure, mit größter Sorgfalt und unter vollkommen identen Umständen construiert sind, so wird man doch zugeben, dass die Uebereinstimmung bei den gewöhnlich von Mechanikern angefertigten Instrumenten geringer ist.

Zuvörderst stellte ich mir die Fragen:

1) Sind Hygrometer aus einerlei Art von Haaren, die in einer und derselben Operation entfettet wurden, strenge vergleichbar?

2) Sind es Hygrometer aus verschiedenen Haaren, die aber in einer und derselben Operation entfettet wurden?

3) Sind endlich Hygrometer aus verschiedenen Haaren, die in verschiedenen Operationen, oder durch verschiedene Processe entfettet wurden, auch noch vergleichbar?

Um die erste dieser Fragen zu beantworten, beobachtete ich unter sehr mannigfaltigen Umständen eine große Anzahl Hygrometer, die Hr. Bunten frisch construiert hatte, und so gut war, mir zu diesem Behufe zu meiner Verfügung zu stellen. Alle diese Hygrometer hatten Haare von einerlei Art, entfettet in einer und derselben Operation.

Die erste Reihe von Beobachtungen wurde in freier Luft gemacht, an drei dieser Hygrometer und an einem vierten, sehr alten, das von Paul in Genf verfertigt worden, und dem physikalischen Kabinet des *Collège de France* gehört. Diese vier Instrumente wurden zugleich in denselben Gefäßen hinsichtlich ihrer Festpunkte geregelt. Die Tafel I. enthält ihre gleichzeitigen Angaben.

Tafel I.

Hygrometer von Bunten.			Hygromet. v. Paul.
1.	2.	3.	
72°,0	71°,4	72°,7	60°,9
71°,7	71°,0	72°,7	60°,9
75°,9	74°,8	75°,0	64°,4
79°,1	78°,0	77°,6	67°,1
80°,3	79°,5	78°,4	71°,2
77°,0	76°,7	75°,0	71°,8
74°,8	75°,0	74°,2	65°,6
71°,6	71°,9	71°,1	62°,9
75°,7	75°,7	74°,8	66°,1
78°,0	78°,1	77°,0	68°,6
81°,4	80°,9	80°,3	72°,3
80°,6	80°,3	78°,5	71°,6
87°,6	87°,2	85°,0	78°,6
88°,8	88°,8	86°,3	79°,9
90°,0	90°,0	87°,5	82°,5
89°,1	89°,1	87°,5	81°,7
90°,2	90°,0	88°,3	83°,3
86°,4	85°,2	86°,7	80°,7
91°,6	91°,3	88°,9	84°,1
88°,8	87°,9	85°,2	81°,1

Eine zweite Beobachtungsreihe machte ich an drei anderen Hygrometern von Bunt en und demselben Hygrometer von Paul, indem ich die vier Instrumente in einen Glascylinder stellte, der eine Schicht mehr oder weniger verdünnter Schwefelsäure enthielt und hermetisch verschlossen wurde. So wurden die Resultate der Tafel II. erhalten.

Tafel II.

Bunt en'sche Hygrometer.			Paul'sches Hygromet.
4.	5.	6.	
10°,2	12°,0	11°,3	10°,4
23°,0	23°,9	23°,6	17°,5
35°,9	38°,1	36°,2	27°,4
55°,6	57°,6	55°,6	42°,6
67°,3	69°,5	66°,8	52°,0
75°,8	77°,6	75°,1	60°,3
82°,4	83°,6	81°,8	66°,9
84°,8	86°,2	84°,1	70°,0
92°,6	93°,8	92°,4	81°,8
98°,4	99°,5	98°,4	92°,6

Endlich wurden fünf andere, aber mit derselben Art von Haaren versehene Bunt en'sche Hygrometer zugleich in Einen Glascylinder gebracht, welcher successive verschiedene Gemenge von Schwefelsäure und Wasser enthielt. Die erhaltenen Zahlen finden sich in Tafel III.

Tafel III.

Bunt en'schen Hygrometer.				
7.	8.	9.	10.	11.
21°,1	19°,9	18°,7	21°,3	20°,7
41°,1	41°,3	39°,4	42°,2	41°,1
58°,4	58°,3	56°,2	59°,5	58°,6
66°,3	67°,3	65°,1	68°,7	67°,9
79°,3	80°,7	78°,5	82°,2	81°,4
89°,1	90°,9	88°,6	91°,5	91°,1
94°,2	95°,8	94°,2	96°,0	95°,6

Aus diesen Tafeln sieht man, daß die Hygrometer des Hrn. Bunt en auf eine genügende Weise mit einander übereinstimmen, denn die größte Abweichung steigt

nur auf 3 Grad. Man wird auch bemerken, daß wenn ein Hygrometer einen Grad mehr als ein anderes anzeigt, sich bei allen übrigen Beobachtungen ein Unterschied in gleichem Sinne zeigt.

Daraus schliesse ich, *daß Hygrometer, construirt mit einerlei Art Haaren, die in einer Operation entfettet wurden, zwar nicht strenge übereinstimmend gehen, aber doch so weit, daß sie für die meisten Beobachtungen als vergleichbar betrachtet werden können.*

Vergleicht man in den Tafeln I. und II. die Angaben des Paul'schen Hygrometers mit denen der Buntén'schen, so findet man so große Unterschiede, daß es unmöglich ist, diese Instrumente für vergleichbar zu erklären, selbst bei Beobachtungen, bei denen man sich mit groben Annäherungen begnügen würde.

Man wird vielleicht einwerfen, das Paul'sche Hygrometer wäre sehr alt und in Folge deß das Haar sehr verändert. Es ist mir unmöglich, zu entscheiden, ob dies Hygrometer in den ersten Zeiten nach seiner Anfertigung den nämlichen Gang zeigte, den wir vorhin beobachteten; allein ich kann versichern, daß dies Instrument eben so empfindlich und regelmäfsig in seinem Gange ist, als eins der jüngeren Hygrometer, welche ich zu untersuchen Gelegenheit hatte.

Jedenfalls beweist schon diese eine Beobachtung, *daß Hygrometer, construirt mit Haaren von verschiedener Natur und verschiedener Zubereitung, sehr große Unterschiede in ihren Angaben darbieten können, selbst wenn sie an den Festpunkten mit einander stimmen.*

Diese Ungleichheit des Ganges hängt wahrscheinlich zum großen Theil von der Zubereitungsweise des Haares ab, vielleicht auch von der Länge seines Gebrauchs im Instrument. In der That habe ich mich überzeugt, daß Haare von sehr verschiedener Natur, die aber in einer und derselben Operation ausgelaugt worden, keine große Unregelmäfsigkeiten in ihrem Gange darbieten.

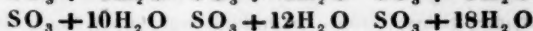
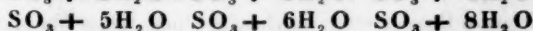
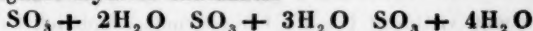
Fünf an Farbe und Feinheit möglichst verschiedene Arten von Haaren wurden in einer und derselben Operation genau nach den Vorschriften Saussure's entfettet, auf fünf unter sich ähnliche Röhre gezogen, und hinsichtlich ihrer Festpunkte zugleich in einem und demselben Gefäß bestimmt. Hierauf brachte man diese Instrumente in ein Gefäß, welches folgeweise eine mehr oder weniger verdünnte Schwefelsäure enthielt.

Bunten'sche Hygrometer.				
12.	13.	14.	15.	16.
19°,6	23°,4	24°,4	21°,9	21°,5
51°,3	54°,6	55°,0	54°,2	53°,3
63°,4	67°,3	67°,0	68°,3	67°,6
77°,8	80°,6	80°,4	80°,7	80°,3

No. 13 und 14 stimmen in ihrem Gange vollkommen mit einander überein, eben so No. 15 und 16, nur No. 12 lieferte stets geringere Angaben. Die größten Unterschiede zwischen den Angaben dieser fünf Hygrometer belaufen sich auf fünf Grade.

Die Gesamtheit dieser Beobachtungen zeigt die Unmöglichkeit, eine genaue, für alle Hygrometer gültige Tafel zu berechnen, und es ist daher wünschenswerth, daß den Beobachtern ein einfaches Verfahren zu Gebote stehe, mittelst dessen sie selbst die Tafel für ihre Hygrometer entwerfen, und die Graduirung ihres Instruments so oft, als sie es wünschen, berichtigen können. Ich will ein Verfahren beschreiben, das mir diesen Bedingungen vollkommen zu genügen scheint.

Ich bereitete Gemische von Schwefelsäure und Wasser in verschiedenen bestimmten Verhältnissen, so daß folgende Hydrate entstanden:



Diese Gemische wurden durch eine strenge chemische Analyse geprüft, und man berichtigte allemal ihre

Zusammensetzung, wenn die Analyse zeigte, daß sie merklich von der beabsichtigten abwich. Mit größter Sorgfalt bestimmte ich auch nach dem in meiner Abhandlung über die Spannkraft des Wasserdampfs gegebenen Verfahren die Spannkraft des Wasserdampfs dieser Gemische für Temperaturen zwischen 0° und 50° C. Ich construirte die von diesen Versuchen gelieferten Curven graphisch, und bestimmte, mittelst drei gleichabständigen Resultaten, die drei Constanten der Formel $f = a_1 + a_2 \beta^2$.

Auf diese Weise habe ich für jedes Gemisch von Schwefelsäure eine Interpolationsformel erhalten.

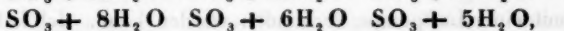
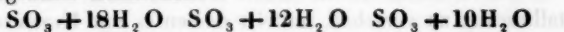
Mittelst dieser Formeln habe ich eine allgemeine Tafel¹⁾ construiert; dieselbe enthält die Spannungen des Wasserdampfs dieser verschiedenen Schwefelsäure-Gemische für jeden Grad von $+5^{\circ}$ bis 35° C., und daneben die Verhältnisse dieser Spannungen zu denen des Dampfs von reinem Wasser bei derselben Temperatur, oder anders gesagt, die Sättigungsstufen, welche jene Gemische hervorbringen.

Der Gebrauch dieser Tafel zur Graduirung des Haarhygrometers ist nun folgender. Man bestimmt am Hygrometer den Punkt der äußersten Feuchtigkeit. Für ganz unnütz halte ich den Punkt der äußersten Trockenheit zu bestimmen, da man diesem bei den Beobachtungen niemals nahe kommt. Ich betrachte auch den Punkt, auf welchem das Hygrometer sich in vollständig trockner Luft einstellt, nicht als dem Haar in seinem normalen Zustande angehörig; er wird erst nach vielen Tagen erreicht, lange nachdem die Luft vollständig ausgetrocknet worden ist. Dieser Umstand beweist hinlänglich, daß das Haar sich in einer vollkommen trocknen Luft anomal zusammenzieht, vielleicht bis in's Unbestimmte, denn ich habe bei einem Hygrometer, welches in einem Glase über concentrirter Schwefelsäure befindlich war, noch nach drei Monaten eine Verkürzung beobachtet, freilich eine sehr

1) Hr. R. verspricht, diese Tafel in den *Ann. de chim. et de phys.* mitzutheilen; so wie sie erscheint, werden wir sie nachliefern. P.

unbeträchtliche, denn es bedurfte mehr als vierzehn Tage, damit der Zeiger einen Grad beschrieb.

Ich setze voraus, das Hygrometer werde in einer Gegend gebraucht, wo die Sättigungsstufe der Luft niemals unter ein Viertel falle; ich beginne die Graduierung erst von diesem Punkte aus. Ich bringe das Hygrometer in ein cylindrisches Glasgefäß, dessen obere Oeffnung durch einen Glasstöpsel genau verschließbar ist. Auf den Boden dieses Gefäßes bringe ich anfangs reines Wasser, dann successive 2 bis 3 Centimeter hohe Schichten von folgenden Gemischen:



und beobachte in allen diesen Fällen den Stand des Hygrometers und den eines daran befestigten Thermometers.

Nun nehme ich aus der Tafel die Sättigungsstufen, die jedem der Gemische bei den beobachteten Temperaturen entsprechen. Auf diese Weise erhalte ich die vom Haarhygrometer angegebenen Grade für genau bestimmte und fast gleichmäfsig über die Skale ausgebreitete Sättigungsstufen, habe folglich alle erforderlichen Elemente, um durch Interpolation die Tafel meines Hygrometers zu berechnen.

Sonach kann das Hygrometer von jedem Beobachter graduirt werden. Die Zubereitung der normalen Schwefelsäure-Gemische kann keine Schwierigkeit darbieten. Am besten bereitet man sie, wenn man käufliche Schwefelsäure mit so viel Wasser versetzt, dafs man das Gemisch $\text{SO}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$ bekommt. Dabei entwickelt sich viel Wärme, und da demnach immer Wasser verdampft, besitzt die Flüssigkeit nie den rechten Gehalt. Man ermittelt daher durch eine sehr sorgfältige Analyse die Zusammensetzung dieser Flüssigkeit, und bedient sich ihrer alsdann zur Darstellung der übrigen Gemische.

In wohl verschlossenen Gefäfsen kann man diese

Flüssigkeiten sehr lange aufbewahren, und sich derselben zur Graduirung des Instruments so oft man will bedienen.

Die wichtigste Bedingung ist, den Glashafen mit dem Hygrometer an einen Ort zu stellen, wo die Temperatur nur sehr langsam wechselt, damit die Flüssigkeit wirklich die vom Thermometer angezeigte Temperatur besitze. Zu diesem Behufe stelle ich den Glashafen in einen Holzkasten, der seitwärts eine Thür hat, die man nur im Moment der Beobachtung öffnet.

Es ist leicht, den Deckel des Glases mit einer Metallfassung zu versehen, mittelst dessen es zum Evacuiren mit einer Luftpumpe verbunden werden kann. Ich habe gefunden, daß das Hygrometer über demselben Gemische und bei derselben Temperatur in der Luft und im Vacuo dieselbe Angabe liefert, daß es aber im Vacuo einen weit rascheren Gang hat, und nur wenige Minuten erfordert, um einen festen Stand zu erreichen, selbst wenn die Sättigungsstufe nur sehr gering ist.

Ich habe zur Bildung der Hygrometertafel einen andern zwar schwieriger ausführbaren Proceß angewandt, der aber erlaubt die Graduirung in sehr kurzer Zeit zu vollziehen, und dieselbe bei verschiedenen Temperaturen mit großer Genauigkeit zu studiren.

Eine Glasglocke VV' , etwa 15 Litre fassend, ruht auf einem Sockel von Gufseisen, in einer Nuthe, die mit einem leicht schmelzbaren Kitt ausgegossen worden, wodurch sie unten hermetisch verschlossen ist. Diese Glocke trägt eine Fassung A mit mehreren Tubulaturen. Die mittelste derselben o umschließt ein sehr genaues Thermometer; an die zweite sind gelöthet: erstlich ein Bleirohr cd , welches zum barometrischen Manometer führt, und dann ein Rohr ef , welches mit der Luftpumpe verbunden ist; die dritte Tubulatur endlich, die einen Hahn besitzt, ist durch Kittung mit einem kleinen Ballon voll Wasser verbunden.

Die Glocke wird in ein größeres Gefäß voll Wasser gestellt, und letzteres wiederum in einen gußeisernen Kessel voll Wasser, das mittelst einer Weingeistlampe erwärmt wird, wenn man das die Glocke umgebende Wasser auf eine feste und höhere Temperatur, als die der umgebenden Luft, erheben will.

Unter die Glocke habe ich vier Hygrometer gebracht; zwei versehen mit Haaren, die durch eine Lösung von kohlensaurem Natron zubereitet worden; eins mit einem Haare, das durch Aether entfettet worden; und ein viertes endlich, worin ein Cocoufaden aufgezogen war.

Man evacuirt erstlich bei geöffnetem Hahn r , dann schließt man diesen Hahn, und evacuirt sehr oft, wobei man jedes Mal trockne Luft sehr langsam eintreten läßt, und trocknet sonach die Glocke vollständig aus. Endlich evacuirt man noch so vollständig wie möglich, und trennt die Luftpumpe ab.

Man mißt am Kathetometer den Höhenunterschied der beiden Säulen des barometrischen Manometers, wodurch man die Spannkraft der im Apparat zurückgebliebenen trocknen Luft findet. Man versichert sich, daß das Vacuo sich vollkommen hält.

Um in die Glocke eine kleine Menge Feuchtigkeit zu bringen, öffnet man den Hahn r auf einige Augenblicke, und schließt ihn dann wiederum. Die Spannung des eingeführten Dampfs mißt sich durch den Unterschied der Kuppen beider Quecksilbersäulen. Das Wasser um die Glocke wird häufig bewegt, und auf einer stationären Temperatur erhalten.

Die Hygrometer nehmen ihren Gleichgewichtszustand sehr rasch an. Wenn es geschehen, notirt man ihren und des Thermometers T Stand, und mißt die Spannkraft des Wasserdampfs.

Um eine neue Menge Dampf einzuführen, öffnet und schließt man den Hahn r , wiederholt dieselben Bestim-

mungen, und so fort, bis der Raum auf den Sättigungszustand gebracht ist.

Da die Temperatur sich während der Versuche nicht merklich geändert hat, so erhält man über die Hygrometergrade eine Tafel für verschiedene Sättigungsstufen, die einer selben Temperatur entsprechen.

Es ist leicht, eine zweite Reihe von Bestimmungen bei höherer Temperatur zu machen, indem man die Glocke abermals austrocknet, und auf beschriebene Weise verfährt. Man kann sich alsdann versichern, ob die beiden Tafeln, welche man nun hat, identisch sind.

Sucht man nur für ein Hygrometer eine Tafel zu entwerfen, so braucht man nicht die Glocke in Wasser zu halten, sondern kann die Versuche in der Temperatur der umgebenden Luft anstellen; doch muß diese Temperatur etwas hoch seyn, denn bei sehr niedrigen Temperaturen sind die Spannkkräfte des Wasserdampfs zu klein, als daß man sie mit hinreichender Genauigkeit messen könnte.

III. Von den Condensations-Hygrometern.

Le Roy, von Montpellier, hat zur Bestimmung des hygrometrischen Zustandes der Luft zuerst vorgeschlagen, Wasser in einem Gefäße durch Zusatz kleiner Mengen Eis so weit zu erkälten, bis auf der Außenwand sich ein Niederschlag zu bilden anfängt. Die Temperatur, welche das Wasser in diesem Momente zeigt, ist diejenige, bei welcher die Luft durch den in ihr enthaltenen Wasserdampf vollständig gesättigt seyn würde. Bezeichnet t die Temperatur der umgebenden Luft, t' die des Wassers im Gefäße, f und f' die diesen Temperaturen entsprechenden Spannkkräfte des Wasserdampfs, so wird $\frac{f'}{f}$ die Sättigungsstufe der Luft seyn.

In den meisten Fällen hält es schwer, das zu diesem Versuche nöthige Eis zu bekommen. Einige Physiker

haben daher vorgeschlagen, die Senkung der Temperatur des Wassers im Gefäß durch Auflösung gewisser Salze, wie salpetersaures Ammoniak, zu bewerkstelligen. Allein wenn die Luft sehr trocken und die Temperatur sehr hoch ist, hält es oft schwer, die Temperatur so weit zu erniedrigen, daß ein Thaubeschlag entsteht.

Das Verfahren von Le Roy ist erst brauchbar geworden durch das Condensations-Hygrometer von Daniell. Bekanntlich besteht dies Instrument aus zwei Kugeln *A* und *B*, die durch eine weite gekrümmte Röhre verbunden sind. Die Kugel *A* ist etwas über ihre Hälfte mit Aether gefüllt, und die Röhre enthält ein sehr empfindliches Thermometer dergestalt, daß dessen Behälter sich in der Mitte der Kugel *A* befindet und in die oberen Schichten des Aethers eintaucht. Man macht den kleinen Apparat vollkommen luftleer, und verschließt ihn dann vor der Lampe. Die Kugel *B* ist mit Battist umhüllt, und auf diesen gießt der Beobachter mittelst einer Pipette tropfenweise Aether. Die Verdampfung des Aethers in der Luft bewirkt eine bedeutende Erkältung der Kugel *B*, und dies veranlaßt eine Destillation des Aethers der Kugel *A*. Der Aether erkaltet sich und kann bis unter die Temperatur sinken, bei welcher die Luft mit der in diesem Moment in ihr enthaltenen Dampfmenge gesättigt seyn würde. Man sieht demgemäß auf der Kugel *A* einen Thau entstehen. Um die erste Bildung desselben sichtbarer zu machen, nimmt man zur Kugel *A* in der Regel ein tiefblaues Kobaltglas, oder bekleidet sie mit einem Ring von glänzender Vergoldung.

Die Erkältung des Aethers in der Kugel *A* erfolgt hauptsächlich an der Oberfläche der Flüssigkeit, wo die Verdampfung geschieht; und da die Flüssigkeiten schlechte Wärmeleiter sind, so findet zwischen den oberen und unteren Schichten der Flüssigkeit immer ein merklicher Temperatur-Unterschied statt. Daher beginnt die Bethauung immer auf einem Ring, welcher die Oberfläche der Flüssigkeit

sigkeit umgiebt, und erst später breitet sich der Beschlag über die ganze Oberfläche der Kugel aus. Es ist daher zweckmässig, den Behälter des Thermometers in der oberen Schicht der Flüssigkeit anzubringen, und diesem Behälter möglichst kleine Dimensionen zu geben, damit der Verzug seiner Temperatur gegen die der umgebenden Flüssigkeit möglichst gering sey. Wenn man aber diesen Behälter sehr klein nimmt, werden auch die Grade des Thermometers sehr klein, und die Ablesung des Instruments wird unsicherer.

In geübten Händen kann der Daniell'sche Apparat annähernd die Temperatur der Bethauung geben, allein man kann sich auf seine absolute Genauigkeit nicht verlassen. Der Apparat bietet in der That mehr Uebelstände dar, die ich aufzählen will.

1) Der Aether zeigt in seinen verschiedenen Schichten beträchtliche Temperaturunterschiede; die Temperatur ist in der oberflächlichen Schicht niedriger als in den unteren. Wäre auch das Thermometer äusserst empfindlich, was bei weitem nicht der Fall ist, so würde es doch nur die mittlere Temperatur der Schichten anzeigen, in welche sein Behälter eingetaucht ist. Diese mittlere Temperatur kann aber bedeutend abweichen von der, von welcher der erste Thaubeschlag abhängt. Man verringert den Fehler, der aus dieser Ursache entspringen kann, wenn man die Verdampfung des Aethers zur Zeit, da man sich dem Thaupunkt nähert, sehr langsam bewerkstelligt; allein man darf nicht hoffen, ihn ganz zu heben.

2) Die Handhabung des Apparats erfordert eine lange Anwesenheit des Beobachters nahe bei demselben; dieß ist ein großer Uebelstand, denn sie hat nothwendig Einfluß auf die Feuchtigkeit und die Temperatur der Luft, vor allem, wenn der Beobachter genöthigt, sich sehr zu nähern, um das Thermometer abzulesen und die erste Bethauung zu beobachten.

3) Die Verdunstung einer großen Menge Aether

ge-

geschieht auf der Kugel *B* in einem Raum sehr nahe bei dem, wo man die Bethauung der Kugel *A* hervorruft. Es ist unmöglich, daß nicht dieser Umstand und die durch ihn in den umgebenden Luftschichten herbeigeführte Temperatursenkung eine sehr merkliche Veränderung in dem hygrometrischen Zustand der Luft veranlaßt.

4) Der Aether, den man anwendet, ist niemals wasserfrei; der käufliche Aether enthält Wasser bis zu einem Zehntel seines Gewichts. Dieses Wasser wird durch die Verdampfung des Aethers in einem Raum verbreitet, der dem, wo man die Bethauung hervorruft, sehr nahe ist. Auch dadurch muß der hygrometrische Zustand verändert werden.

5) Ist die Temperatur hoch und die Luft sehr trocken, so ist es unmöglich, auf der Kugel *A* einen Thau hervorzurufen, selbst wenn man große Mengen Aether auf die Kugel *B* schüttet, so daß in diesem Fall das Instrument seinen Dienst vollständig versagt. Es ist übrigens klar, daß die unter No. 3 und 4 aufgezählten Uebelstände desto größer werden, je beträchtlicher die Menge des verdampften Aethers ist.

Man hat viele Abänderungen des Daniell'schen Apparats erdacht; mehrere Physiker haben vorgeschlagen, die Bethauung direct auf der Kugel des Thermometers hervorzurufen; sie haben den Stiel des Thermometers gekrümmt, und genau auf dem oberen Theil der Kugel ein Metallschälchen angebracht, um den zur Erkältung bestimmten Aether darin zu gießen. Die Bethauung wird dann auf dem nackten Theil der Kugel beobachtet. Offenbar hat diese Einrichtung keine Vorzüge vor der Daniell'schen. Die Angabe des Thermometers entspricht der mittleren Temperatur der verschiedenen Punkte des Quecksilbers im Behälter, und nicht der desjenigen Theils seiner Hülle, wo man die Bethauung beobachtet; jedermann begreift, daß zwischen diesen beiden Temperaturen, vor Allem wenn das Thermometer im raschen

Sinken ist, ein sehr bedeutender Unterschied stattfinden kann.

Dieselben Einwürfe gelten auch von den Vorrichtungen, die Hr. Pouillet unter den Namen: *Hygromètre à capsule* und *Hygromètre à virole* vorgeschlagen hat¹⁾, so wie von Hrn. Savary's *Mettall-Hygrometer*²⁾. Alle diese Instrumente zeigen im höchsten Grade einen Uebelstand, den man um jeden Preis vermeiden muß. Die Fläche, auf der man die Bethauung beobachtet, liegt sehr nahe, oft mitten in dem Raume, wo man den zur Hervorbringung der Kälte bestimmten Aetherdampf entwickelt. Bei allen diesen Instrumenten hat man gesucht, das Sinken des Thermometers zu beschleunigen, während man gerade das Umgekehrte sich hätte zur Aufgabe machen sollen. Man muß das Sinken möglichst verlangsamen, um sicher zu seyn, daß zwischen der Temperatur der Wand, wo der Thau entsteht, und der, welche das Thermometer anzeigt, nur ein sehr kleiner Unterschied vorhanden sey.

Alle diese Uebelstände finden sich, glaube ich, beseitigt in dem Instrumente, welches ich den Physikern unter dem Namen: *Condensations-Hygrometer* (*Hygromètre condenseur*) vorschlage, und unter den verschiedenartigsten Umständen zu prüfen Gelegenheit hatte.

Dasselbe besteht aus einem Kästchen (*dé*, Würfel) von sehr dünnem und wohl polirtem Silber, 45 Millimet. hoch und 20 Millm. im Durchmesser. Er paßt drang auf ein an beiden Enden offnes Glasrohr, welches seitwärts eine Tubulatur *t'* besitzt. Die obere Oeffnung dieses Rohrs ist verschlossen durch einen Kork, der den Stiel eines Thermometers hindurchläßt, welches die Axe einnimmt, und sich mit seinem Behälter mitten im Silberkästchen befindet. Ein dünnes Glasrohr, an beiden Enden offen, geht durch denselben Pfropfen, und zwar bis

1) *Eléments de physique, quatrième édition, T. II, p. 635.*

2) *Ann. de chim. et de phys. T. II, p. 531. (Ann. Bd. 54, S. 147.)*

auf den Boden des Kästchens. Man schüttet Aether in das Rohr, und verknüpft die Tubulatur t' durch ein Bleirohr mit dem Aspirator, der 3 bis 4 Liter faßt und mit Wasser gefüllt ist. Der Aspirator wird neben den Beobachter gestellt, dagegen das Hygrometer so entfernt, wie man will ¹⁾).

Läßt man Wasser aus dem Aspirator abfließen, so dringt Luft in die Röhre fg , und blasenweise durch den Aether, der sich, in ihr verdampfend, erkaltet. Die Erkältung geschieht desto rascher, je reichlicher das Wasser fließt. Die ganze Masse des Aethers zeigt übrigens eine beinahe gleichförmige Temperatur, weil sie von den durchstreichenden Luftblasen bewegt wird. In weniger als einer Minute sinkt die Temperatur so rasch, daß ein reichlicher Thau sich absetzt. In diesem Moment beobachtet man das Thermometer mittelst eines Fernrohrs. Angenommen, das Thermometer zeige 12° , und diese Temperatur sey niedriger als die, welcher die Sättigung der Luft entspricht. Man schließt nun den Hahn r des Aspirators; dadurch hält der Luftstrom ein, der Thau verschwindet nach einigen Augenblicken, und das Thermometer steigt. Es möge 13° zeigen, und dieser Punkt über dem Thaupunkt liegen. Nun öffne ich wiederum den Hahn r , so daß Luftblasen sparsam durch den Aether streichen; wenn dafsungeachtet das Thermometer zu steigen fortfährt, so öffne ich den Hahn mehr, und bringe dadurch das Thermometer auf $12^{\circ},9$ herab. Schließt man den Hahn etwas mehr, so ist es leicht, das Thermometer langsamer sinkend zu machen und so lange, wie man will, auf $12^{\circ},9$ zu halten. Bildet sich nach einigen Augen-

1) Bis auf die Anwendung des Aspirators und eines Fernrohrs ist das von Hrn. Regnault vorgeschlagene Instrument ganz dasselbe, welches Prof. Döbertiner im J. 1822 in Gilbert's Annal. Bd. 70, S. 135, beschrieben und abgebildet hat. Statt des Aspirators gebraucht der erfinderische Jenaer Physiker eine kleine Compressionspumpe oder, einfacher, eine mit Luft gefüllte Blase. P.

blicken kein Thau, so liegt $12^{\circ},9$ offenbar über dem Thaupunkt. Ich senke das Thermometer nun auf $12^{\circ},8$, und erhalte es darauf durch zweckmäßige Regelung des Ausflusses. Es mag nun die Metallfläche nach einigen Minuten bethauen; daraus schliesse ich, daß $12^{\circ},8$ unter, und $12^{\circ},9$ über der Temperatur der Sättigung liegt. Eine grössere Annäherung würde ich erhalten, wenn ich suchte, ob $12^{\circ},85$ unter oder über diesem Punkte liege. Zu dem Ende drehe ich den Hahn r sehr wenig, so daß das Thermometer, ungeachtet des Durchgangs von Luftblasen durch den Aether, sehr langsam steigt, und beobachte, ob bei der Temperatur $12^{\circ},85$, auf welcher ich das Thermometer einige Augenblicke erhalte, der Thau verschwinde oder verweile.

Alle diese Operationen sind in der Beschreibung länger als in der Ausführung. Mit ein wenig Uebung sind 3 bis 4 Minuten hinreichend, den Thaupunkt bis auf $0,05$ Grad zu bestimmen.

Der Aspirator ist geräumiger als es zu einer einzigen Bestimmung nothwendig ist. Der von mir erwähnte reicht hin, den Condensator mehr als eine Stunde lang in der Nähe des Thaupunkts zu halten, und mehr als zehn Bestimmungen zu machen.

Mittelst dieses Instruments habe ich in einem grossen Amphitheater, dessen thermo- und hygrometrischer Zustand sich nur sehr langsam änderten, sehr viele Beobachtungen gemacht, und immer vollkommen übereinstimmende Resultate erhalten.

Macht man Beobachtungen in freier Luft, so erkennt man, wie veränderlich, bei den fast unaufhörlichen Temperaturschwankungen, der hygrometrische Zustand von einem Augenblick zum andern ist. Hält man das Thermometer des Condensators stationär in der Nähe des Thaupunkts, so sieht man das Metall bethauen und wieder blank werden, je nachdem der leiseste Luftzug von dieser oder jener Seite kommt. Die gewöhnlichen Hygrometer und die

Psychrometer sind viel zu wenig empfindlich, als dafs sie diese momentanen Variationen angeben könnten.

Für den Punkt des Raums, dessen hygrometrischer Zustand bestimmt werden soll, mufs man die Temperatur der trocknen Luft sehr genau haben. Zu dem Ende bringe ich ein sehr empfindliches Thermometer in einem zweiten Apparat an, der dem ersten ganz ähnlich ist, nur keine Flüssigkeit enthält. Diesen zweiten Apparat stelle ich dicht neben den ersten. Es ist ungemein nützlich, aus dem Contrast auf geringe Aenderungen zu schliesen, die dem ersten Apparat überkommen. So würde ein noch wenig geübter Beobachter den ersten leisen Thaubeschlag nicht erkennen, wenn das Hygrometer allein da wäre; aber neben dem zweiten Apparat, der als Vergleicherdient, wird er ihn unfehlbar sogleich gewahr werden.

Die Academie erblickt hier den Apparat, wie ich ihn gewöhnlich einrichte. *ab* ist der Condensator, *t* die Tubulatur, gekittet an ein Kupferrohr *tcd*, welches in *d* mittelst eines Bleirohrs mit dem Aspirator verbunden ist. Die Tubulatur *t'* des zweiten Apparats ist durch etwas Kitt verschlossen; fürchtet man, dafs das Thermometer *T* den Veränderungen der Lufttemperatur nicht rasch genug folge, so kann man es in freier Luft aufhängen, und den als Vergleicherdienenden Silbercylinder auf dem Rohr *cd* befestigen.

Es ist leicht ersichtlich, dafs der eben beschriebene Apparat all die Uebelstände vermeidet, die ich vorhin, als am Daniell'schen Hygrometer vorhanden, aufzählte.

1) Das Thermometer zeigt scharf dieselbe Temperatur an, welche der Aether hat, und alle Schichten dieser Flüssigkeit haben, weil sie unaufhörlich von den durchstreichenden Luftblasen bewegt werden, einerlei Temperatur. Die Metallwand, auf welche der Thau sich absetzt, hat ebenfalls gleiche Temperatur wie der Aether, weil sie mit diesem in unmittelbarer Berührung steht und sehr dünn ist.

2) Die Handhabung erfordert nicht die Nähe des Beobachters; im Gegentheil hält dieser sich mehrere Meter davon entfernt, und beobachtet das Instrument mit einem Fernrohr.

3) und 4) In der Nähe des Orts, dessen hygrometrischen Zustand man bestimmen will, wird kein Dampf gebildet.

5) Kann man weit bedeutendere Temperatursenkungen bewirken, als mit dem Daniell'schen Instrument. So habe ich während der größten Sommerhitze das Thermometer auf mehrere Grade unter Null gebracht, und die Metallwand mit einer dicken Schicht von Reif bekleidet.

Endlich bedarf man auch viel weniger Aether; man kann ihn sogar ganz entbehren, und statt seiner Alkohol verwenden. Diefs ist sehr wichtig, wenn man die Beobachtungen in sehr heißen Klimaten machen soll, wo die Aufbewahrung einer so flüchtigen Flüssigkeit, wie Aether, fast unmöglich ist.

Ich habe bei Füllung des Condensators mit gewöhnlichem Alkohol sehr viele Versuche gemacht, und sehr leicht die Bethauung erlangt. Nur muß dann die Aufsaugung der Luft rascher geschehen als mit Aether, und das Thermometer sinkt langsamer. Diefs ist indess kein Nachtheil, weil man nun, um den Thaupunkt zu finden, weniger zu probiren braucht.

Die größte Unbequemlichkeit des Apparats besteht darin, daß der Aspirator etwas voluminös ist, und man zu seiner Füllung Wasser bedarf, was auf einer Reise nicht immer leicht zu haben ist. Darauf bemerke ich zuvörderst, daß der von mir angewandte Apparat viel zu groß ist, wenn man nur eine einzige Beobachtung machen will. Für diesen Fall reicht ein Gefäß von einem Liter hin; ich habe mich indess überzeugt, daß man bei einiger Uebung des Aspirators gänzlich überhoben ist.

Ich versehe das Bleirohr mit einem Mundstück, ähn-

lich dem an einem Löthrohr, und neben diesem Mundstück bringe ich einen Hahn an. Der Beobachter bläst anfangs ziemlich lebhaft durch den Aether, um denselben auf den Thaupunkt zu bringen; dann hält er ein, läßt den Thau verschwinden, bläst darauf mäfsiger, indem er den Hahn zweckmäfsig dreht. Hiedurch ist es leicht, das Thermometer des Condensators fast zum Stillstand zu bringen. Ein geübter Beobachter könnte selbst den regulirenden Hahn entbehren, allein die Anwendung desselben macht den Versuch viel leichter.

IV. Vom Psychrometer.

Hr. Gay-Lussac hat zuerst den Vorschlag gemacht, den hygrometrischen Zustand der Luft dadurch zu bestimmen, dafs man ein trocknes Thermometer und ein auf seinem Behälter stets benäfst erhaltenes beobachte; aber er meint, dafs man, um daraus den Feuchtigkeitsgehalt der Luft herzuleiten, Tafeln construiren müsse, deren Elemente eine grofse Zahl von Versuchen erfordern¹⁾.

Seit der Zeit hat ein deutscher Physiker, Hr. August, sich mit dieser Aufgabe beschäftigt; er hat mehrere interessante Abhandlungen veröffentlicht, in welchen er versucht, durch theoretische Betrachtungen die Formeln aufzustellen, nach welchen man aus den Angaben des trocknen und des benäften Thermometers die Spannkraft des in

- 1) *Ann. de chim. et de phys.* (1822) *T. XXI*, p. 91. — [Weit früher, nämlich im J. 1792, hat der berühmte Hutton, zu Edinburgh, versucht, die Verdunstungskälte, gemessen durch ein trocknes und ein benästes Thermometer, zur Ermittlung des Feuchtigkeitszustandes der Luft zu benutzen (*Playfair in Transact. of the roy. soc. of Edinb. T. V*, p. 67, und Ivory in dem *Philosoph. Mag. and Journ.* (1822) *Vol. LX*, p. 81); Leslie, der später, im J. 1799, sein Differentialthermometer zu gleichem Zwecke vorschlug, (*Gilb. Ann. Bd. 5* (1800), S. 235) behauptet gar, er sey schon 1790 auf diese Anwendung der Verdunstungskälte verfallen. Andererseits ist unstreitig Ivory der Erste, welcher zur Berechnung des Feuchtigkeitszustandes der Luft aus der Verdunstungskälte (a. a. O.) eine Formel aufgestellt hat. — *P.*]

der Luft vorhandenen Wasserdampfs berechnen kann. Er belegte den aus zwei Thermometern zusammengesetzten Apparat mit dem Namen *Psychrometer*.

[Hr. Regnault entwickelt nun, aus den *Annalen*, Bd. 5, S. 69, und dem Schriftchen: *Ueber die Fortschritte der Hygrometrie etc.* entlehnt, die von August gegebenen Formeln, und zwar ziemlich ausführlich, weil, wie er sagt, dieselben bisher in keinem französischen Werke angeführt wurden. Da diese Entwicklung dem deutschen Publicum bekannt ist, so übergehen wir sie hier, und nehmen den Faden dort wieder auf, wo Hr. R. diese Formeln durch Einfügung einiger neuen Constanten ein wenig abändert.

A. giebt nämlich als vollständigen und als abgekürzten Ausdruck für die Spannkraft x des in der Luft vorhandenen Dampfs die Formeln:

$$x = \frac{1 + \frac{\gamma}{\delta\lambda}(t - t')}{1 + \frac{k}{\lambda}(t - t')} f' - \frac{\frac{\gamma}{\delta\lambda}(t - t')}{1 + \frac{k}{\lambda}(t - t')} h \quad (1)$$

und

$$x = f' - \frac{0,558(t - t')}{640 - t'} h \quad (2),$$

worin h der Barometerstand, t die Temperatur des trocknen Thermometers, t' die des benäetzten, f' die der letzteren Temperatur entsprechende Spannkraft des Dampfs, $\lambda = 640 - t'$ die latente Wärme des Dampfs, $\delta = 0,6235$ die Dichtigkeit desselben, $\gamma = 0,2669$ die spezifische Wärme der trocknen Luft, k die des Dampfs (als gleich mit γ angenommen).

Indem nun Hr. R. $\delta = 0,622$ und $\lambda = 610 - t'$ setzt, erhält er die Formel:

$$x = \frac{1 + \frac{0,2669}{0,622\lambda}(t - t')}{1 + \frac{0,2669}{\lambda}(t - t')} f' - \frac{\frac{0,2669}{0,622\lambda}(t - t')}{1 + \frac{0,2669}{\lambda}(t - t')} h$$

und bei Vernachlässigung der sehr kleinen Größen:

$$x = f' - \frac{0,429(t - t')}{610 - t'} h.$$

Darauf fährt er fort, wie folgt.]

Hr. August hat gesucht, die Richtigkeit seiner Formel durch vergleichende Versuche mit dem Psychrometer und dem Daniell'schen Hygrometer darzuthun. Er citirt ähnliche Versuche von anderen Physikern, und findet in allen Fällen zwischen der aus der Beobachtung

des Thaupunkts abgeleiteten Spannkraft des Wasserdampfs und der nach dem Psychrometer mittelst der Formel (2) bestimmten eine genügende Uebereinstimmung.

Hr. August findet auch eine vollständige Bestätigung seiner Formel in den Versuchen, die Hr. Gay-Lussac früher über die Kälte des auf der Kugel eines in einen trocknen Luftstrom gebrachten Thermometers verdunstenden Wassers angestellt hat¹⁾.

Um die Formel (1) auf diesen Fall anzuwenden, muß man darin $x=0$ setzen; sie wird dann:

$$\gamma(h-f')(t-t')=f'\lambda\delta\dots(3).$$

Setzt man darin statt f' die Function $\varphi(t')$, welche die Spannkraft des Wasserdampfs bei Sättigung in Bezug auf die Temperatur ausdrückt, so hat man eine Gleichung in t' , die, aufgelöst in Bezug auf diese Gröfse, die Temperatur giebt, auf welche ein Thermometer mit beständig benäffter Kugel herabsinkt, wenn dasselbe in einen trocknen Luftstrom von der Temperatur t gestellt wird. Allein die Function $\varphi(t')$ ist zu complicirt, als dafs man die Gleichung in t' auflösen könnte; man muß es umgekehrt machen, folgeweise annehmen:

$$t'=0, 1, 2, \dots$$

und die Gleichung in Bezug auf t lösen. So erhält man die Temperaturen t und t' des trocknen und des feuchten Thermometers, die beide einem selben trocknen Luftstrom ausgesetzt sind. Die dazwischen liegenden Zahlen berechnen sich durch eine einfache proportionale Interpolation. Die Gleichung (3), in Bezug auf t aufgelöst, giebt:

$$t=t'+\frac{f'\lambda\delta}{\gamma(h-f')}=t'+\frac{\lambda}{0,429}\cdot\frac{f'}{h-f'},$$

oder:

$$t=t'+\frac{(610-t')f'}{0,420(h-f')}.$$

Die folgende Tafel enthält, für $h=760$ Millm., einige auf diese Weise berechnete Werthe von t .

1) *Ann. de chim. et de phys. Ser. II. T. XXI, p. 82.*

t'	t	$t-t'$	t'	t	$t-t'$
-5° C.	$0^{\circ},68$ C.	$5^{\circ},68$ C.	$+4^{\circ}$ C.	$15^{\circ},42$ C.	$11^{\circ},42$ C.
-4	$2,18$	$6,18$	5	$17,22$	$12,22$
-3	$3,70$	$6,70$	6	$19,08$	$13,08$
-2	$5,35$	$7,35$	7	$20,99$	$13,99$
-1	$6,95$	$7,95$	8	$22,96$	$14,96$
0	$8,65$	$8,65$	9	$24,97$	$15,97$
$+1$	$10,28$	$9,28$	10	$27,05$	$17,05$
$+2$	$11,95$	$9,95$	11	$29,21$	$18,21$
$+3$	$13,67$	$10,67$			

Die Zahlen dieser Tafel entfernen sich nicht sehr von den bei directen Versuchen von Hrn. Gay-Lussac beobachteten.

Die Formel (3) nimmt keine Rücksicht auf die Geschwindigkeit des Luftstroms; nach ihr müßte der Temperaturunterschied für jegliche Geschwindigkeit derselbe seyn. Das scheint *a priori* unmöglich zu seyn. Ich habe durch directe Versuche den Einfluß dieser Geschwindigkeit zu bestimmen gesucht, um zu erfahren, ob, von einem gewissen Werth der Geschwindigkeit aus, die Temperaturunterschiede zwischen dem trocknen und dem benähten Thermometer unabhängig seyen von der absoluten Geschwindigkeit des Luftstroms, wie man nach den Schlusfolgen, auf welchen Hr. August seine Psychrometerformel errichtet, natürlich glauben muß.

Zu dem Ende erbaute ich folgenden Apparat. Ein trocknes Thermometer *a* und eins mit benähter Kugel *b* befinden sich in zwei cylindrischen Büchsen von sehr dünnem Messing *A* und *B*. Die Kugel des Thermometers *b* ist bekleidet mit Battist, der beständig feucht gehalten wird durch einen Baumwollendocht, welcher in eine kleine mit Wasser gefüllte Kugel *c* taucht, deren Hals hermetisch in der unteren Tubulatur der Büchse *B* festgekittet ist.

Ein mehrmals gekrümmtes Messingrohr wird zur vollständigen Austrocknung der Luft mit einem großen Rohr voll schwefelsauren Bimsteins verbunden, und die Röhre *D* mit einem großen Aspirator in Gemeinschaft gesetzt.

Die Versuche wurden im Laboratorio des Hrn. Reiset angestellt, mit zwei Aspiratoren, jeder 600 Liter fassend, die so eingerichtet sind, dafs sie sowohl einzeln als zugleich wirken können.

Den Apparat setzt man in eine grofse Glasglocke voll Wasser von der umgebenden Temperatur, und rührt diefs Wasser fortwährend um. Ehe die trockne Luft zum Thermometer *a* gelangt, geht sie durch ein sehr langes Metallrohr, das, in dem Wasser des Gefäfses liegend, die Temperatur dieses Wassers besitzt, welche Temperatur übrigens der der Umgebung sehr nahe kommt.

So wie man den Hahn eines der Aspiratoren etwas öffnet, sinkt das benähte Thermometer sogleich, und nach einiger Zeit kommt es auf einen festen Stand; dann zeichnet man die Angaben beider Thermometer auf. Um die Geschwindigkeit des Luftstroms zu finden, fängt man das aus dem Aspirator abfliefsende Wasser in einem Glasballon auf, der auf seinem Hals einen Merkstrich hat, und bis dahin 5 Liter fafst. An einer Uhr zählt man die Zahl der Secunden, welche das Gefäfs zu seiner Füllung gebraucht; daraus ergiebt sich denn leicht, wie viele Kubikcentimeter in der Minute abfliefsen.

Auf dieselbe Weise macht man bei mehr geöffnetem Hahn eine neue Bestimmung, und so fort. Um ein sehr rasches Ausfliefsen zu erhalten, läfst man beide Aspiratoren zugleich wirken.

So wurden folgende Resultate erhalten.

t	t'	$t-t'$	Ausgefloss. Wasser in l'.	t	t'	$t-t'$	Ausgefloss. Wasser in l'.
14°,66	7°,28	7°,38	797	21°,48	10°,78	10°,70	815
14,73	6,64	8,09	1096	21,50	10,05	11,45	1117
14,93	5,39	9,54	1466	21,63	9,49	12,14	1523
14,96	5,16	9,80	1845	21,70	9,18	12,52	1947
14,96	4,67	10,29	3045	21,70	8,67	13,03	3019
14,96	4,33	10,63	5067	21,70	8,56	13,14	3330

Um diese Zahlen leichter zu vergleichen, wollen wir sie in jeder der beiden Reihen auf eine gleiche Tempe-

ratur t beziehen. Diese Temperatur sey für die erste Reihe $14^{\circ},96$, und für die zweite $21^{\circ},70$. Zu dem Ende wollen wir zu den Werthen von t' gleiche Gröfsen hinzufügen, wie wir zu den Werthen von t hinzugefügt haben, um sie gleich zu machen. Da die hinzuzufügenden Gröfsen nur sehr klein sind, so wird diese Berichtigung keinen merklichen Fehler herbeiführen können. So erhalten wir:

t	t'	$t-t'$	Ausflufs in l'.	t	t'	$t-t'$	Ausflufs in l'.
$14^{\circ},96$	$7^{\circ},58$	$7^{\circ},38$	797	$21^{\circ},70$	$11^{\circ},0$	$10^{\circ},70$	815
$14,96$	$6,87$	$8,09$	1096	$21,70$	$10,25$	$11,45$	1117
$14,96$	$5,42$	$9,54$	1466	$21,70$	$9,56$	$12,14$	1523
$14,96$	$5,16$	$9,80$	1845	$21,70$	$9,18$	$12,52$	1947
$14,96$	$4,67$	$10,29$	3045	$21,70$	$8,67$	$13,03$	3019
$14,96$	$4,33$	$10,63$	5067	$21,70$	$8,56$	$13,14$	3330

Hieraus sieht man, dafs für eine gleiche Temperatur t die Temperaturen t' sehr von der Geschwindigkeit des Luftstroms abhängen. Berechnet man nach der Formel (3) die Temperaturen t' , welche den Temperaturen t entsprechen, so findet man

$$\text{für } t=14^{\circ},96 \quad t'=3^{\circ},73 \quad t-t'=11^{\circ},23$$

$$- \quad t=21,70 \quad t'=7,36 \quad t-t'=14,34.$$

Die so gefundenen Zahlen sind noch geringer als die, welche wir bei dem schnellsten Ausflufs beobachteten.

Man kann sich eine ziemlich richtige Idee von dem Gange dieser Versuche machen, wenn man dieselben graphisch construirt. Man nimmt die Ausflufsgeschwindigkeiten zu Abscissen, und die Temperaturen t' des benähten Thermometers zu Ordinaten. Für $v=0$ haben wir offenbar $t'=t$, d. h. den Punkt, worin die Curve die Axe der t schneidet. Zieht man zu der Axe der v eine Parallele in einem Abstände, der dem aus unserer Formel abgeleiteten Werth von t' gleich ist, so muß man eine Asymptote der Curve erhalten, wenn dieser Werth von t' einer unendlichen Geschwindigkeit des Luftstroms entspricht. Allein ich habe mich überzeugt, dafs,

wenn man durch den Apparat einen noch rascheren Strom von trockner Luft gehen läßt, als er in den vorhergehenden Versuchen angewandt ward, was man leicht mit Hülfe einer Luftpumpe bewerkstelligen kann, die Temperatur t' des benähten Thermometers noch sehr beträchtlich unterhalb derjenigen sinkt, welche sich aus der Formelergiebt. Denn ich erhielt in zwei Versuchen:

t	t'	$t - t'$	t' nach d. Formel.
18°,91	5°,39	13°,52	5°,91
22°,95	7°,35	15°,60	8°,00.

Die vorstehenden Versuche zeigen, daß es nur ein zufälliger Umstand war, weshalb die Versuche des Hrn. Gay-Lussac Zahlen gaben, die sich nur wenig von den aus der Formel abgeleiteten entfernten; denn es würden ganz andere Zahlen erhalten seyn, wenn eine andere Geschwindigkeit angewandt worden wäre. Die Versuche des Hrn. Gay-Lussac können also nicht als Bestätigungen der Richtigkeit der Formel des Hrn. August angeführt werden.

Wenn die Geschwindigkeit des Luftstroms bei vollkommener Trockenheit einen großen Einfluß auf die Senkung der Temperatur des feuchten Thermometers hat, so ist klar, daß dieser Einfluß auch sehr merklich seyn muß, wenn die Luft eine gewisse Menge Feuchtigkeit einschließt. Um mich davon zu überzeugen, machte ich folgenden Versuch. Der zuvor beschriebene Apparat wurde durch sein Rohr E mit einem Aspirator verknüpft, und an das Ende G ein langes Glasrohr angesetzt, welches die Luft draussen auf einem Hofe aufzog dicht neben einem Psychrometer. Man ließ den Aspirator wirken, und als das benähte Thermometer einen festen Stand erreicht hatte, notirte man gleichzeitig den Stand der beiden Thermometer a und b des Apparats, und der beiden Thermometer des äußeren Psychrometers. Da es dieselbe Luft war, die auf beide psychrometrische Apparate einwirkte, so hätte sich offenbar aus

ihren gleichzeitigen Angaben eine gleiche Menge Feuchtigkeit mittelst der Formel ergeben müssen.

Bei einem zweiten Versuch liefs man, um einen rascheren Luftstrom zu erhalten, zwei Aspiratoren zugleich wirken, und bei einem dritten Versuche brachte man einen noch rascheren Strom mittelst der Luftpumpe hervor.

Auf diese Weise wurden unter andern folgende Resultate erhalten:

Aufsagung mit	Aeußeres Psychrometer.				Psychrometer im Apparat.			
	t	t'	$t - t'$	f	t	t'	$t - t'$	f
1843 Jun. 11				mm.				mm.
1 Aspirator	16,40	12,27	4,13	8,40	14,69	11,17	3,52	7,98
2 -	16,79	12,39	4,40	8,33	14,77	10,74	4,03	7,44
1 -	18,15	13,34	4,81	8,69	14,80	11,17	3,63	7,92
Jun. 12								
Luftpumpe	13,15	10,82	2,33	8,41	14,58	10,52	4,06	7,29
Jun. 13								
2 Aspiratoren	16,10	13,48	2,62	10,09	14,85	12,57	2,28	9,62

Aus dieser Tafel ersieht man, dafs wenn der Luftstrom mittelst eines Aspirators oder einer Luftpumpe hervorgebracht ward, die aus den Ständen der Thermometer im Apparat nach der Formel berechnete Spannkraft des Wasserdampfs immer etwas kleiner war, als die aus der Beobachtung des im Freien aufgestellten Psychrometers abgeleitete. Das Gegentheil würde sicher statthaben, wenn der Luftstrom langsam ginge.

Aus all dem Angeführten geht hervor, dafs die Bewegung der Luft einen sehr merklichen Einflufs auf die Angaben des Psychrometers ausüben mufs; es ist leicht, sich davon durch einen directen Versuch zu überzeugen. Man befestige ein Psychrometer auf dem Umfang eines horizontalen Rades, dem man eine sehr rasche Rotation einprägen kann. Man wird sehen, dafs während der Bewegung das trockne Thermometer um einen kleinen Bruch vom Grade steigt, das benätfte Thermometer dagegen beständig um mehrre Zehntelgrade sinkt.

Ich glaube nicht, dafs man als Basis des psychro-

metrischen Calculs Hrn. August's Hypothese annehmen kann, daß alle Luft, welche dem benähten Thermometer Wärme liefert, bis zu der von diesem angezeigten Temperatur t' herabsinke und sich vollständig mit Feuchtigkeit sättige. Ich halte es für wahrscheinlich, daß die Luft, welche sich erkaltet, nicht bis auf t' gelangt, und sich nicht mit Feuchtigkeit sättigt. Das Verhältniß der Wärmemenge, welche die Luft der Kugel durch Verdampfung des Wassers entzieht, zu der Wärmemenge, welche sie beim Erkalten verliert, ist wahrscheinlich um so größer, je trockner die Luft ist, weil sie in diesem Zustande begieriger nach Feuchtigkeit ist, als wenn sie schon ihrem Sättigungszustande nahe kommt.

Endlich erleidet die Temperatur der benähten Kugel noch einen anderen Einfluß als von der umgebenden Luft; sie ist der Strahlung der Kälte ausgesetzt, deren Einfluß nach der Bewegung der Luft verschieden ist.

Es scheint mir unmöglich, alle diese Umstände in die theoretische Berechnung aufzunehmen; ich halte es für klüger, die theoretischen Betrachtungen nur zur Aufsuchung der Form der Formel zu gebrauchen, und dann die Constanten durch Versuche, die unter bestimmten Bedingungen gemacht sind, festzusetzen. Dieß Verfahren scheint mir desto nothwendiger, als hinsichtlich mehrer der in die Rechnung eintretenden numerischen Elemente eine Unsicherheit herrscht, namentlich hinsichtlich der specifischen Wärme der Luft, der des Dampfs, und der vom Wasser bei seinem Verdampfen in der Luft absorbirten Wärme. Ich werde am Schlusse dieser Abhandlung Verfahrensweisen angeben, die, wie ich glaube, diese Elemente mit Genauigkeit durch directe Versuche bestimmen lassen.

Somit werden wir setzen:

$$x = Af' - \frac{B(t-t')}{\lambda} h,$$

und untersuchen, ob diese Formel aus den Angaben eines

Psychrometers, das unter sehr verschiedenartige Umstände versetzt ist, allemal die wahre Menge Feuchtigkeit berechnen läßt, wenn man die Constanten A und B zweckmäßig bestimmt. Kann auf diese Weise die Feuchtigkeitsmenge nicht für alle Fälle bestimmt werden, so wird man voraussetzen können, A und B seyen eine Function von t , oder von t' , oder von $t - t'$, die man, der Einfachheit halber, von der Form $a + bt$ oder $\frac{1}{a + bt}$ u. s. w. nehmen kann.

Ich begann mit der Untersuchung, ob nicht die Temperatur des benähten Thermometers von der Gestalt oder Gröfse seines Behälters und von der Befassungsweise desselben abhängt. Ich fand, dafs in einer wenig bewegten Luft, in dem physikalischen Hörsaal des *Collège de France*, welcher eine Geräumigkeit von etwa 600 Kubikmeter hat, ein Thermometer mit ziemlich großem sphärischen Behälter (17 Millm. Durchmesser) beständig eine um $0^{\circ},1$ bis $0^{\circ},2$ höhere Temperatur anzeigte, als zwei dicht daneben befindliche Thermometer mit sehr langen cylindrischen Behältern. In freier Luft erhielt sich der Unterschied in gleichem Sinn, wurde aber geringer. Der kugelförmige Behälter des Thermometers, welches ich zu diesem Versuch anwandte, ist größer als es inßgemein die Behälter der Thermometer sind, die man zu dem Psychrometer nimmt; ich habe es absichtlich so genommen, um den etwaigen Unterschied zu vergrößern. Ich glaube, man kann daraus schließeln, dafs die Gestalt des Behälters nur einen sehr geringen Einfluß habe auf die stationäre Temperatur, auf welche das benähtste Thermometer gelangt. Ich gebe indels den Thermometern mit cylindrischen Behältern den Vorzug, weil sie für Veränderungen, die in der Temperatur der Luft eintreten, weit empfindlicher sind und, bei gleicher Quecksilbermasse, der Luft eine weit größere Oberfläche darbieten.

Eben

Eben so wenig habe ich gefunden, daß die Benäussungsweise des Thermometers einen merklichen Einfluß ausübt, sobald zu dem Battist, welcher die Kugel umgiebt, eine hinreichende Menge Wasser gelangt. Auch wenn die Menge größer ist als die, welche verdunstet, so daß von Zeit zu Zeit ein Tropfen Wasser auf den Behälter fällt, habe ich keinen merklichen Unterschied gefunden. Es ist übrigens klar, daß die in Ueberschuß anlangende Wassermenge immer sehr klein seyn muß, weil sie sonst nicht Zeit haben würde, sich durch Verdampfung zu erkälten. Die Länge des Weges, welchen das Wasser in dem Baumwollendocht vom Gefäß bis zum Behälter des Thermometers durchläuft, schien mir auch keinen merklichen Einfluß auszuüben, wenigstens innerhalb der Gränzen, die man bei der gewöhnlichen Construction des Psychrometers nicht überschreitet.

Erste Versuchsreihe.

Hiezu dienten drei Thermometer, eins *A* mit trockenem Behälter von 8 Millm. Durchmesser und 30 Millm. Länge, eins *B* mit benäfstem Behälter von 5 Millm. Durchmesser und 60 Millm. Länge, und eins *C* mit ebenfalls benäfstem Behälter von 7 Millm. Durchmesser und 45 Millm. Länge.

Diese Thermometer sind angebracht auf dem Ende eines 2 Meter langen Brettes, dessen anderes Ende am Balken eines nach Norden liegenden Fensters im ersten Stockwerk befestigt ist. Die Behälter dieser Thermometer befinden sich 4 Decimeter über dem Brett und 7 Meter über dem Boden in der Luft eines großen Hofes (des großen quadratischen Hofes im *Collège de France*); man beobachtet sie mittelst eines Fernrohrs.

Mittelst eines Aspirators und einer langen Glasröhre saugte man in geringem Abstand von den Thermometern Luft auf, und ließ sie durch tarirte Trockenröhren streichen. Während dieser Operation schrieb man regelmäßig von 5 zu 5 Minuten die Thermometerstände

auf. Man nahm daraus die Mittelwerthe, und setzte sie in die Psychrometerformel, um die Feuchtigkeitsmenge zu berechnen, und sie mit der durch directe Wägung gefundenen zu vergleichen.

Um den Gang der Versuche leichter zu beurtheilen, nahm ich die Formel an:

$$x = f - \frac{0,429 (t - t')}{610 - t'} h.$$

Die in der Tafel aufgeführten Werthe $\frac{x}{f}$ der Sättigungsstufe wurden aus dem mittelst dieser Formel gefundenen Werthe von x berechnet.

Tafel I. — Psychrometer-Versuche im großen Hofe des Collège de France.

Mit Aspirator No. I.

Trocknes Thermo- meter A	Benähte Ther- mometer			Wasserge- wicht gefunden	Sättigungsstufen gefunden	berechnet
t	t'	$t - t'$	h_0	p	$\frac{p}{P}$	$\frac{x}{f}$
Erste Reihe.			mm.	gram.		
12°, 12	7°, 07	7°, 10	5°, 04	764,38	0,270	0,424
12, 54	7, 61	7, 63	4, 92	764,35	0,3035	0,474
14, 07	7, 56	7, 60	6, 49	764,43	0,2595	0,356
15, 24	9, 52	9, 53	5, 72	762,42	0,324	0,417
16, 68	10, 06	10, 06	6, 62	760,42	0,319	0,396
17, 88	8, 27	8, 30	9, 60	754,89	0,1755	0,197
13, 18	8, 87	8, 97	4, 26	756,43	0,340	0,551
18, 08	11, 66	11, 68	6, 41	754,72	0,399	0,438
18, 47	10, 60	10, 68	7, 83	754,36	0,3245	0,337
18, 06		12, 51	5, 55	751,10	0,436	0,507
13, 12	9, 39	9, 46	3, 69	749,38	0,398	0,609
9, 39	5, 62	5, 68	3, 74	737,09	0,287	0,554
7, 16	5, 29	5, 31	1, 86	748,71	0,332	0,750

Zweite Reihe. — Kleines Psychrometer.

17, 90	11, 79	6, 11	752,61	0,392	0,439	0,463
17, 70	11, 71	5, 99	752,50	0,405	0,454	0,466
14, 51	11, 06	3, 45	755,57	0,455	0,628	0,646
16, 58	12, 24	4, 34	755,10	0,466	0,563	0,589
16, 33	12, 34	3, 99	754,70	0,485	0,594	0,617
16, 05	12, 34	3, 21	754,65	0,543	0,677	0,685

Die nach der Formel berechneten Sättigungsstufen stimmen hier sehr genügend mit den direct durch Wägung gefundenen. Allein dieß ist viel weniger der Fall bei niederen Temperaturen und sehr feuchter Luft, wie man aus der folgenden Tafel ersehen kann, welche die Resultate von ganz unter ähnlichen Umständen im December 1842 angestellten Versuchen enthält. Das zu diesen Versuchen angewandte Psychrometer bestand aus Thermometern mit kugelförmigen Behältern von 10 Millimeter Durchmesser, und war schon zu der zweiten Reihe der vorhergehenden Tafel angewandt.

Tafel II.

Thermometer				Wassergewicht gefunden	Sättigungsstufen.	
trocknes	benäßtes				gefunden	berechnet
t	t'	$t - t'$	h_0	p	$\frac{p}{P}$	$\frac{x}{f}$
			mm.	grm.		
7°,26	6°,51	0°,75	772,52	0,391	0,8503	0,896
7,70	6,66	1,04	771,73	0,401	0,8406	0,859
7,10	6,95	0,15	771,87	0,441	0,9626	0,979
8,25	8,10	0,15	768,33	0,4835	0,9783	0,979
9,65	8,89	0,76	766,62	0,473	0,8734	0,904
9,84	8,92	0,92	764,69	0,473	0,8616	0,889
5,64	4,54	1,10	753,50	0,331	0,8035	0,841
6,87	4,67	2,20	753,75	0,278	0,6193	0,694
1,37	1,14	0,23	759,36	0,266	0,9877	0,959
5,65	4,46	1,19	758,67	0,314	0,7576	0,828
0,85	0,29	0,56	755,33	0,2435	0,8183	0,900
7,52	6,22	1,30	748,14	0,361	0,7659	0,826
8,33	6,76	1,57	748,14	0,372	0,7436	0,797
5,80	5,41	0,39	768,22	0,3525	0,8314	0,943
8,56	7,73	0,83	770,13	0,4345	0,8533	0,891

Mit Ausnahme einer einzigen sind die berechneten Sättigungsstufen sämmtlich größer als die durch directe Versuche gefundenen, oft um ein Beträchtliches, um ein Zehntel. Freilich bieten auch bei niederen Temperaturen und großen Feuchtigkeiten die Angaben des Psychrometers wenig Genauigkeit dar, weil der Temperaturunterschied zwischen dem trocknen und dem benäßten Thermometer nur gering ist.

Zwei andere Reihen Versuche wurden in geschlossenen Räumen angestellt, um zu zeigen, daß die Formel S. 354 nicht auf diesen Fall anwendbar ist. Das Zimmer, worin die erste Reihe, Tafel III., gemacht wurde, hatte eine Geräumigkeit von 100 Kubikmeter; der Beobachter betrat es nicht, sondern las die Thermometer von einem anstossenden Zimmer aus mit einem Fernrohr ab.

Tafel III. — Versuche in einem geschlossenen Zimmer des Collège de France.

t	t'	$t-t'$	h_0	p	$\frac{p}{P}$	$\frac{x}{f}$
			mm.	grm.		
21°,44	17°,44	4°,00	760,13	0,605	0,5649	0,6644
21,65	17,73	3,92	757,03	0,624	0,5743	0,6745
22,06	18,08	3,98	756,75	0,644	0,5775	0,6716
22,47	18,41	4,06	756,27	0,659	0,5769	0,6689
22,39	18,48	3,91	758,50	0,661	0,5816	0,6831
23,52	19,32	4,20	758,49	0,686	0,5652	0,6663
23,38	18,02	5,36	758,61	0,594	0,4930	0,5814
23,73	18,44	5,29	757,40	0,598	0,4889	0,5902
25,75	19,81	5,94	755,33	0,652	0,4731	0,5656
23,44	18,97	4,47	758,28	0,669	0,5530	0,6457

Tafel IV. — Versuche im physikalischen Hörsaale ¹⁾.

t	t'	$t-t'$	h^0	p	$\frac{p}{P}$	$\frac{x}{f}$
			mm.	grm.		
8°,06	6°,67	6°,69	1°,38	757,39	0,3585	0,7525
8,29	6,52	6,55	1,75	762,92	0,344	0,7107
9,15	7,23	7,23	1,92	764,98	0,345	0,6738
15,71	12,14	12,20	3,54	751,59	0,460	0,597
16,19	12,49	12,55	3,67	752,35	0,461	0,581
16,32	12,65	12,71	3,64	751,36	0,463	0,580
14,78	12,01	11,98	2,78	752,97	0,474	0,653
15,25	12,34	12,34	2,91	735,43	0,479	0,640

Die nach der Formel berechneten Sättigungsstufen sind hier viel gröfser als die aus den directen Wägungen des Wassergehalts der Luft abgeleiteten, oder, anders gesagt, die Temperatur t' des benähten Thermome-

1) Zu den fünf letzten Versuchen diente der Aspirator No. 2.

ters war durch die auf der Oberfläche desselben geschehenen Verdampfung des Wassers nicht so weit erniedrigt, daß die Formel den richtigen Werth x der Spannkraft des Dampfs geben konnte. Diefs rührt offenbar davon her, daß die Luft hier weniger bewegt war als draussen.

Die Resultate in Tafel V., verglichen mit denen in Tafel IV., beweisen dies aufs Einleuchtendste. Das Psychrometer wurde im physikalischen Hörsaal aufgestellt, genau wie bei den Versuchen der Tafel IV., nur wurden zwei große gegenüberstehende Fenster geöffnet; die Thermometer, die zwischen diesen Fenstern standen, waren somit einem ziemlich starken Luftzug ausgesetzt. Sogleich näherten sich die Angaben des Apparats denen, welche er in freier Luft gegeben haben würde.

Tafel V. — Versuche im physikalischen Hörsaal, dabei zwei gegenüberliegende Fenster geöffnet.

t	t'		$t-t'$	h	$p^1)$	$\frac{p}{p}$	$\frac{x}{f}$
				mm.	gram.		
17°,49	11°,54	11°,60	5°,92	750,97	0,382	0,444	0,469
17°,21	11°,50	11°,62	5°,65	753,06	0,394	0,468	0,486
17°,45	11°,60	11°,71	5°,80	752,56	0,389	0,454	0,478
13°,01	10°,05	10°,11	2°,93	755,73	0,431	0,665	0,683
14°,05	10°,72	10°,80	3°,29	755,68	0,440	0,636	0,658
16°,19	11°,88	11°,95	4°,28	755,11	0,450	0,570	0,589
16°,20	12°,25	12°,33	3°,91	754,70	0,474	0,598	0,623

Diese Versuche beweisen aufs Klarste, daß eine und dieselbe Formel nicht anwendbar ist auf diese verschiedenen Fälle.

Ich habe zu erfahren gesucht, ob für Versuche in freier Luft, aber unter verschiedenem atmosphärischen Druck angestellt, eine und dieselbe Formel gültig sey. Dazu bedurfte es, die nämlichen Versuche, die ich in Paris angestellt hatte, an sehr hochliegenden Orten zu wiederholen. Da ich selbst dergleichen Versuche nicht anstellen konnte, so bat ich Hrn. Marié, einen meiner

1) Mit Aspirator No. 2.

Zöglinge, dieselben auszuführen. Dieser junge Physiker hat zwei Reihen Versuche angestellt, eine zu *St. Etienne*, im Mai und Juni 1843, unter einem mittleren Barometerdruck von 705 Millm., und die andere auf dem *Mont Pila* unter einem Druck von 655 Millm.

Die Versuche des Hrn. Marié wurden ganz nach den Methoden der meinigen angestellt; sie zeigen aber weit größere Unregelmäßigkeiten, weil die Umstände bei ihnen ungünstiger waren, die Thermometer oft während eines Versuchs um mehrere Grade schwankten. Es ist dann sehr schwierig, die mittlere Feuchtigkeitsmenge sicher zu berechnen, wenigstens wenn nicht die Thermometerbeobachtungen in sehr kurzen Zeiten auf einander folgen, was unglücklicher Weise bei den Versuchen des Hrn. Marié nicht der Fall war.

Endlich war Hr. Izarn so gut, im Juli 1844 einige Versuche in den Pyrenäen zu machen, und zwar einerseits mit dem Psychrometer, das zu den Beobachtungen Tafel I, zweite Reihe, und Tafel III gedient hatte, so wie andererseits durch Bestimmung der Luftfeuchte mittelst meines Condensations-Hygrometers.

Psychrometer.			Condens.- Hygrom.	H_0	Sättigungsstufe.	
t	t'	$t - t'$	δ		Condens.	Psychrom.
				mm.		
20°,12	17°,37	2°,75	15°,39	700	0,7437	0,7632
20°,68	16°,77	3°,91	15°,34	700	0,7157	0,6746
20°,56	16°,91	3°,65	14°,99	700	0,7047	0,6937
20°,92	18°,45	2°,47	16°,62	700	0,7651	0,7903
20°,55	18°,29	2°,26	16°,70	700	0,7864	0,8055
20°,32	18°,22	2°,10	16°,63	700	0,7942	0,8177
13°,50	11°,53	1°,97	9°,22	700	0,7542	0,7937
13°,60	11°,56	2°,04	9°,32	700	0,7548	0,7871
13°,44	11°,51	1°,93	9°,37	700	0,7652	0,7975
14°,13	11°,97	2°,16	9°,43	700	0,7350	0,7786

Die Versuche des Hrn. Izarn gaben für $\frac{x}{f}$ etwas größere Werthe, als man aus der Temperatur der Be-

thauung des Condensators findet; und dasselbe Resultat geht im Allgemeinen auch aus den Versuchen des Hrn. Marié hervor.

Die Gesammtheit dieser Bestimmungen zeigt, daß wenn für die Beobachtungen in freier Luft die Formel

$$x = f' - \frac{0,429(t-t')}{610-t'} h$$

angenommen wird, man etwas zu große Spannkkräfte x erhält. Um sie der Wahrheit näher zu bringen, würde man den Coëfficienten 0,429 nur etwas zu vergrößern brauchen. Der Coëfficient 0,480 bringt für Sättigungsstufen über 0,40 eine fast vollständige Uebereinstimmung zwischen den berechneten und direct beobachteten Resultaten zu Wege; allein für geringere Sättigungsstufen führt er im umgekehrten Sinne zu einer größeren Abweichung als der Bruch 0,429. Es scheint daraus hervorzugehen, daß der Coëfficient B der Formel (4) von $t-t'$ abhängt, offenbar, weil die Luft, wenn sie sehr trocken ist, verhältnißmäßig mehr Dampf aufnimmt, als wenn sie der Sättigung nahe kommt.

Um die in abgeschlossenen Räumen gemachten Bestimmungen, wie die in Tafel III. und IV., wieder zu geben, müßte man einen weit größeren Coëfficienten anwenden.

Ich enthalte mich für jetzt, eine neue Psychrometerformel aufzustellen, da ich die mir zu Gebote stehenden Elemente nicht für genügend erachte. Ich beschäftige mich damit, den Werth λ , d. h. die latente Wärme, welche das Wasser bei Verdampfung in Luft von der Temperatur t absorbiert, durch directe Versuche zu bestimmen. Der vorhin angenommene Werth $610 - t$ wurde durch Induction angenommen, nach zahlreichen Versuchen, die ich unter verschiedenem Druck über die latente Wärme des Wasserdampfs angestellt habe und künftig veröffentlichen werde. Allein bei diesen Versuchen habe ich niemals unter geringeren Dampfdrucken

als 0,2 Atmosphäre gearbeitet, und diese sind immer noch bedeutend stärker als die Spannungen, welche der Dampf in der Atmosphäre besitzt.

Es wird auch zweckmäfsig seyn, neue Versuche an sehr hochgelegenen Orten anzustellen, um sich zu versichern, ob das zweite Glied der Formel die gehörige Berichtigung wegen der Veränderungen von h enthalte.

Die so eben gegebenen Auseinandersetzungen werden hinreichend zeigen, dafs die Theorie des Psychrometers nicht so einfach ist, wie man insgemein annimmt, und dafs man noch, um dieses Instrument wahrhaft nützlich zu machen für die Meteorologie und physikalische Geographie, eine grofse Zahl von Versuchen unter sehr mannigfaltigen Umständen anstellen mufs, um zu erfahren, ob es möglich sey, für das Psychrometer eine einzige Formel aufzustellen, und um die zur Berechnung der Coëfficienten nöthigen Elemente zu erhalten.

Zu wünschen ist, dafs die Physiker, die an den Fortschritten der Meteorologie Interesse nehmen, sich in verschiedenen Klimaten mit diesen Versuchen beschäftigen ¹⁾; hoffentlich werden ihnen die in dieser Abhandlung gepflogenen Erörterungen und beschriebenen Methoden dabei von einigem Nutzen seyn können.

II. Ueber den Siedpunkt des Wassers in verschiedenen Höhen; von Hrn. V. Regnault.

(*Compt. rend. T. XX. p. 163.*)

Ich habe die Ehre, der Academie zwei Notizen zu überreichen, betreffend den Siedpunkt des Wassers in verschiedenen Höhen. Die eine enthält Beobachtungen von

1) Dabei wäre auch auf die Arbeit von Suerman (Ann. Bd. 41, S. 474) Rücksicht zu nehmen, die Hr. Regnault ganz unbeachtet gelassen hat. P.

den HH. Martins und Bravais bei deren Ersteigung des Montblanc, die andere Beobachtungen von Hrn. Izarn aus den Pyrenäen.

In den *Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XI. p. 334* habe ich, als das Resultat einer langen Reihe von Beobachtungen, eine neue Tafel über die Spannkraft des Wasserdampfs von -32° C. bis $+100^{\circ}$ C. gegeben¹⁾; seitdem habe ich gesucht, die Richtigkeit dieser Tafel auf verschiedene Weise zu prüfen. Für Temperaturen nahe an 100° C. kann man eine sehr hübsche Prüfung dadurch vornehmen, dass man mit einem sehr richtigen Thermometer den Siedpunkt des Wassers auf hohen Bergen beobachtet. Bereits habe ich in meiner Abhandlung zwei Reihen Versuche beigebracht, die zu diesem Zwecke angestellt wurden, die eine von Hrn. Marié bei einer Ersteigung des Mont Pila im December 1843, und die andere von den HH. Bravais und Peltier im Sommer 1842 bei einem Ausflug auf das Faulhorn.

Die Beobachtungen des Hrn. Marié stimmen gut mit meiner Tafel, die der HH. Bravais und Peltier dagegen weichen sehr von ihr ab. Ich schreibe diese Abweichungen dem Umstande zu, dass das von diesen Physikern angewandte Thermometer sehr gröfse Veränderungen in der Lage seines Nullpunkts zeigte, was nothwendigerweise entsprechende Anomalien in der Ablesung des Nullpunkts nach sich ziehen musste.

Um genaue Resultate bei derlei Bestimmungen zu erhalten, ist es nicht genug, dass das Thermometer mit grofser Genauigkeit getheilt sey; es muss auch sein Behälter aus einem Glase bestehen, das sich sehr regelmäfsig ausdehnt. Eine lange Erfahrung hat mich gelehrt, dass die verschiedenen Glassorten dieser Bedingung nicht in gleichem Grade genügen. So zeigen die mit gewöhnlichem Glase construirten Thermometer oft Verschiebungen des Nullpunkts um $\frac{1}{2}$ Grad, blofs dadurch, dass in

1) Man wird sie im nächstens erscheinenden Ergänzungshefte finden.

der Zwischenzeit zweier Bestimmungen dieses Festpunktes das Thermometer auf 100° gebracht ward ¹⁾, während Thermometerröhren von Krystallglas, das ich eigens auf der Hütte von *Choisy-le-Roi* anfertigen, und an welche ich sogleich durch einen geschickten Künstler (Hr. Bunte n) Behälter anblasen liefs, nur sehr geringe, selten bis auf $0^{\circ},05$ steigende, meistens darunter bleibende Veränderungen darbieten.

Zuweilen jedoch zeigt das Thermometer grofse Unregelmäßigkeiten, wenn auch der Stiel desselben aus Krystallglas von *Choisy-le-Roi* besteht, und das Behälter sogleich an den Stiel geblasen ist; das Glas des Behälters hat sich während des Blasens verändert: dieser Umstand zeigte sich bei dem Thermometer, welches ich den HH. Bravais und Peltier zu ihren Beobachtungen im J. 1842 übergeben hatte. Man mufs in diesem Fall nicht anstehen, den Behälter des Thermometers abzuschneiden und einen neuen zu blasen. Diefs geschah bei dem hier in Rede stehenden Thermometer, und vor der Abreise überzeugte man sich aufs sorgfältigste, dafs dasselbe einen hinreichend regelmässigen Gang besafs.

Die Beobachtungen des Hrn. Izarn in den Pyrenäen wurden mit dem Thermometer No. 8 und einem Fortin'schen Barometer gemacht, die zu meinen Versuchen über die Spannkraft des Wasserdampfs gedient hatten. Um zu zeigen, dafs diese Beobachtungen alles Zutrauen verdienen, füge ich hinzu, dafs Hr. Izarn sehr geübt ist in derlei Beobachtungen, und mich bei allen meinen Versuchen über den Dampf mit eben so viel Eifer als Geschicklichkeit unterstützt hat.

Man kann aus den in beiden Notizen gegebenen Tafeln S. 365 und S. 369 ersehen, dafs die Unterschiede zwischen den direct beobachteten Barometerständen und den nach meiner Tafel aus den Siedpunkten des Was-

1) Eine Erfahrung, die schon Egen im J. 1827 gemacht. S. Ann. Bd. 11, S. 353. p.

sers berechneten immer sehr klein sind; sie erreichen selten 1 Millimeter, und sind bald positiv, bald negativ. Ein Unterschied von 1 Millm. im Barometerstande entspricht einem Unterschied von weniger als $0^{\circ},05$ im Siedpunkte; die Unsicherheit ist von einer Ordnung, wie sie beim gegenwärtigen Zustand das vollkommenste Thermometer darbietet. Ich habe gezeigt ¹⁾, daß ein und dasselbe Thermometer nicht allein bei verschiedenen Beobachtungen keine gleiche Lage des Nullpunkts zeigt, sondern auch bei mehreren Bestimmungen, die nach einigen Zwischenzeiten gemacht werden, keinen gleichen Werth des Grades finden läßt.

So fanden wir für das Thermometer No. 8 für den Werth des Grades:

1842 Mai 9 kurze Zeit nach seiner Anfertigung 5,8876,

1844 Juli 17 - - - - - 5,8919,

1844 Aug. 30 - - - - - 5,8945.

Hienach, glaube ich, kann meine Tafel der Spannkkräfte des Wasserdampfs als streng bestätigt zwischen 84 und 100° C. angesehen, und mit vollem Zutrauen zur Berechnung der Höhen aus den Siedpunkten des Wassers angewandt werden. Diese hypsometrische Methode bietet dem Reisenden, der schwierige Gegenden zu durchreisen hat, große Vortheile vor dem Gebrauch des Barometers, denn sie gestattet ihm, mit einem sehr kleinen und nicht belästigenden Apparat sehr genaue Resultate zu erhalten.

Hr. Izarn war so gut, in den Pyrenäen einige Versuche zu machen mit einem kleinen Apparat, den ich ihm übergeben hatte; er konnte die Angaben des in diesem Apparat befindlichen Thermometers mit denen des Thermometers No. 8 in einem großen Siedgefäß vergleichen.

Dieser kleine Apparat besteht aus mehreren Messingröhren, die wie das Rohr eines Fernglases in einander

1) *Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. IV, p. 65.* (Ann. Bd. 55. S. 584.)

zu schieben sind. Die untere Röhre, die 30 (?) Centm. Durchmesser hat, dient als Kessel, und wird mit etwa 40 Kubikcentm. Wasser gefüllt; sie ist von einer weiteren Röhre umgeben, die auf eine Weingeistlampe geschraubt wird, als Schornstein dient, und die Flamme vor dem Winde schützt. Völlig eingeschoben hat der Apparat eine Höhe von 15 Centm., ausgezogen eine von 55.

Das Thermometer hat eine willkürliche Theilung, die nur von 80 bis 100° C. reicht. Es ist folgendermaßen graduirt. Zuerst ist es mit Quecksilber gefüllt, so weit, daß letzteres, bei Eintauchung in schmelzendes Eis, vom Behälter aus beim Drittel der Röhre stehen bleibt. Man bezeichnet diesen Punkt genau, und stellt darauf das Thermometer in Wasser von der umgebenden Temperatur, das man beständig umrührt, neben einem Normalthermometer. Hat man nun den jetzigen Stand aufgezeichnet, so kann man den Werth des Grades berechnen. Man läßt jetzt eine Portion Quecksilber austreten, so daß, wenn das Thermometer in den Dampf von siedendem Wasser gebracht wird, die Quecksilbersäule noch oben in der Röhre stehen bleibt. Dann reinigt man das Thermometer wie gewöhnlich von Luft, und bestimmt genau den Punkt 100 der willkürlichen Skale. Der Gradwerth des so modificirten Thermometers ergibt sich durch eine sehr einfache Rechnung aus dem Werth, den man für den Grad des ursprünglichen Thermometers gefunden hatte.

Folgendes sind nun die Beobachtungen des Herrn Izarn:

No. 8.	Hypsom. Therm.	Unterschied.	No. 8.	Hypsom. Therm.	Unterschied.
96,35	96,32	— 0,03	96,81	96,77	— 0,04
95,40	95,31	— 0,09	96,21	96,17	— 0,04
96,10	96,07	— 0,03	96,27	96,23	— 0,04

Das andere hypsometrische Thermometer zeigte immer eine zu niedrige Temperatur, allein niemals stieg

der Unterschied auf 0°, 1. Diese Genauigkeit ist in den meisten Fällen hinreichend, vor allem, wenn man zu der Beobachtung auf einem Berge keine gleichzeitige Beobachtung an dem tieferen Ort hat.

III. Beobachtungen über die Siedhitze des Wassers, gemacht während einer Ersteigung des Montblanc von den HH. Martins und Bravais.

(Compt. rend. T. XX, p. 166.)

Die Beobachtungen wurden im J. 1844 angestellt, mittelst eines Thermometers mit willkürlicher Skale, das Hr. Peltier überliefs, und desselben Apparats, den schon die HH. Peltier und Bravais im J. 1842 gebraucht hatten ¹⁾.

No. der Beobachtung.	Ablesung			Temp. berechn.	Druck		Unterschied	
	d. Nullpunkts vor dem Sieden.	d. Siedpunkts	d. Nullpunkts nach d. Sieden.		beobachtet.	berechnet.	in mm.	in Graden.
	(Willkürliche Skale.)			°	mm.	mm.		
1	86,72	717,72	86,55	99,880	756,85			
2	86,90	711,32	86,62	98,890	730,40			
3	85,90	697,16	86,10	96,713	673,99	674,92	+0,93	+0,038
4	86,80	656,10	86,40	90,171	529,69	528,88	-0,81	-0,040
5	86,50	636,30			470,07			
6	86,22	639,16	85,90	87,565	478,39	478,58	+0,19	+0,010
7		619,43	86,20	84,396	423,74	422,86	-0,88	-0,052

Von den Beobachtungen wurden angestellt: No. 1 in Paris, Juli 14. — No. 2 in Genf, Juli 28. — No. 3 in Chamounix, Sept. 2. — No. 4 zu Grand-Mulets, Juli 31. — No. 5 auf dem Grand Plateau, Aug. 8. — No. 6 ebendasselbst, Aug. 31. — No. 7 auf dem Gipfel des Montblanc, Aug. 29.

Vor jedem Versuch bestimmte man, wie zu sehen, die Lage des Nullpunkts, indem man das Thermometer

1) Compt. rend. T. XVIII, p. 572.

mit schmelzendem Eise umgab, und dasselbe geschah so gleich nach dem Sieden. Nur bei der Beobachtung auf dem Gipfel des Montblanc geschah das letztere erst 40 Stunden nach dem Sieden. Allen diesen Ablesungen entsprechen gleich geräumige Abtheilungen des Thermometerstiels.

Die Zahlen in der Spalte: »Beobachteter Druck«, ergaben sich durch ein Ernst'sches Barometer mit constantem Niveau und etwa 8 Millm. weiten Röhren; sie erfordern keine weitere Berichtigung, um den absoluten Druck vorzustellen. Die Ablesungen wurden zuvor berichtigt, indem man sie multiplicirte mit dem Verhältniß der Stärke der Schwerkraft am Beobachtungsorte zu der in Paris. Hiebei wurde diese Stärke gleichgesetzt:

$$9^m,8057 (1 - 0,00259 \cos 2l) \left(1 - \frac{3h}{2R}\right),$$

worin l die geogr. Breite des Orts, h seine Meereshöhe und R der Erdradius. Diese Berichtigung, für Paris Null, beträgt $-0^m,58$ für den Gipfel des Montblanc.

Um den Werth des Centigrads in Abtheilungen der willkürlichen Skale zu berechnen, ist Hrn. Regnault's Tafel der Spannungen des Wasserdampfs zum Grunde gelegt. In der Voraussetzung, diese Tafel sey von 760 bis 730 richtig, giebt die Beobachtung zu Paris $99^{\circ},88$ als Temperatur, die dem Druck $756^m,85$ entspricht. Betrachtet man dann die Ablesung *nach* dem Sieden als die des wahren Nullpunkts des Instruments, so hat man:

$$717,72 - 86,55 = 631^{\text{Abth.}},17 = 99^{\circ},88,$$

woraus $1^{\circ} \text{C} = 6,3193$ Abtheilungen.

Die Beobachtung in Genf, eben so behandelt, giebt $1^{\circ} = 6,3171$ Abtheil.

Als Werth des Grades wurde das Mittel aus diesen beiden Bestimmungen genommen, also:

$$1^{\circ} = 6,3182 \text{ Abtheil.}$$

Dieser Werth wurde zur Berechnung der Siedpunkte an anderen Stationen angewandt, und dabei die Ablesung *nach* dem Sieden immer als wahrer Nullpunkt betrachtet.

So erhielt man die Zahlen $96^{\circ},713$, $90^{\circ},171$ u. s. w. Es ist unnöthig, die veränderliche Wirkung des Luftdrucks auf den Thermometerbehälter in Rechnung zu ziehen, da die Prüfung des Nullpunkts und die des Siedpunkts jedesmal unter dem Einfluss von beinahe identen Drucken vollzogen ward (was bei den Beobachtungen auf dem Faulhorn, im J. 1842, nicht geschah). War z. B. die zu *Grand-Mulets* gemachte Ablesung $656,10$ Abtheil. in Folge der Verringerung des äusseren Drucks um $0,30$ Abth. zu gering, so war es die Zahl $86,40$ Abtheil. ebenfalls um dieselbe Grösse. Der Unterschied $656,10 - 86,40$, den man zur Berechnung der Temperaturen anwandte, bedurfte also keiner Berichtigung.

Die Spalte: »Berechneter Druck«, enthält die entsprechenden aus den Temperaturen mittelst Hrn. Regnault's abgeleiteten Spannkkräfte. Die Unterschiede zwischen diesen und den beobachteten Drucken steigen nicht auf 1 Millm.

Die Beobachtung am 8. August ist unvollständig, weil der Nullpunkt nicht nach dem Sieden bestimmt wurde. Sieht man indess $86,0$ Abtheil. als wahrscheinliche Lage dieses Punktes an, so findet man $87^{\circ},097$ als Temperatur des Dampfs, und der Druck, der dieser nach Hrn. Regnault's Tafel entspricht, ist $469,99$ Millm., was nur sehr wenig von dem beobachteten Druck abweicht. Indess verdient diese Beobachtung kein so grosses Zutrauen als die vom 31. August an demselben Ort.

Um die Geschichte dieses Thermometers zu vollenden, muss noch hinzugefügt werden, dass sein Nullpunkt am 24. Sept. der Abtheilung $87,3$ seiner Skale entsprach; späterhin wurde es unbrauchbar.

An dem Thermometer, dessen sich die HH. Peltier und Bravais in den Alpen bedienten, waren die Verschiebungen des Nullpunkts nach jeder Erhitzung bis 90° oder 100° C. sehr bedeutend, im Durchschnitt $= 0^{\circ},175$.

Bei dem von den HH. Martins und Bravais auf ihrer Ersteigung des Montblanc benutzten Thermometer war der Nullpunkt ein standfester. Der Unterschied zwischen den Ablesungen vor und nach dem Sieden stieg nur auf $0^{\circ},037$.

Endlich stand den HH. M. und B. auf derselben Reise ein drittes Thermometer zu Gebote, welches ihnen von Hrn. Regnault anvertraut worden und noch weniger veränderlich war. Dieß Thermometer, wovon eine Abtheilung $= 0^{\circ},216$ C., gab ihnen folgende Resultate in Betreff der Lage des Nullpunkts: zu *Paris* vor dem Sieden 239,22, nachher 239,15 Abtheil.; zu *Genf* vor dem Sieden 239,35, nachher 239,27 Abtheil. Die Verschiebung betrug hier also nur $0^{\circ},016$ C.

IV. Ueber den Siedpunkt des Wassers auf verschiedenen Höhen in den Pyrenäen;

von Hrn. Izarn.

(*Compt. rend. T. XX, p. 169.*)

Das zu diesen Beobachtungen dienende Thermometer war No. 8, welches Hr. Regnault bei seinen Versuchen über die Spannkkräfte des Wasserdampfs anwandte. Der Apparat zum Sieden war der, dessen man sich im Laboratorio des *Collège de France* gewöhnlich bedient, um den Punkt 100 der Thermometer zu bestimmen. Das Barometer war ein Fortin'sches; seine Angaben sind wegen der Unterschiede in Höhe und geogr. Breite berichtigt.

Es war unmöglich, den Nullpunkt des Thermometers vor und nach jedem Versuch zu bestimmen, da es auf den Höhen, wo ich mich befand, keinen Schnee gab. Ich machte bei jeder Ersteigung gewöhnlich zwei bis vier Versuche, und be-

bestimmte den Nullpunkt nach meiner Rückkehr zu *Eaux-Bonnes*; mit der so erhaltenen Zahl berechnete ich meine Versuche. Um mich indeß bis zu einem gewissen Punkt von der Beständigkeit des Ganges meines Thermometers zu überzeugen, zog ich dasselbe nach jedem Versuch aus dem Apparat, liefs es auf die Temperatur der Umgebung kommen, und brachte es dann wieder in den Dampf. So erhielt ich eine zweite Bestimmung, die in der Tafel mit *B* bezeichnet ist. Die Unterschiede der Resultate successiver Bestimmungen gehen nicht über $0^{\circ},03$, gehören zur Ordnung der Beobachtungsfehler, und sind überdies bald positiv, bald negativ.

Man wird bemerken, dafs das Thermometer bei den Beobachtungen am 22. und 27. Juli gleichen Nullpunkt zeigte, obwohl es mehrmals auf 97° gebracht worden war. Ich füge hinzu, dafs er sich seit dem 26. Oct. 1843 nicht verändert hat, wo ich ihn in einem Tagebuch des Hrn. Regnault bei 66° fand. Am 12. Aug. fand sich der Nullpunkt bei $64^{\circ},9$, was eine Senkung von $1^{\circ},1 = 0^{\circ},19$ ist. Diese Senkung wurde durch einen aufsergewöhnlichen Umstand veranlafst. Am 29. Juli hatte ich zwei Bestimmungen gemacht, die nicht in der Tafel aufgeführt sind, weil auf dem Transport des Thermometers die Quecksilbersäule sich getrennt hatte, und ich genöthigt war, den Behälter etwas stark zu erhitzen, um diese Säule in die am Ende der Röhre befindliche Erweiterung zu treiben. Das Instrument war dadurch hergestellt, aber der Nullpunkt gleich hernach auf $64^{\circ},8$ herabgesunken. Am 11. Aug. lag er auf $64^{\circ},9$, und auf diesem Punkt erhielt er sich an den folgenden Tagen. Bei meiner Rückkehr nach Paris fand ich ihn am 30. August bei $65^{\circ},05$; am 13. Nov. war er auf $65^{\circ},5$ gestiegen, und am 20. Jan. 1845 lag er bei $65^{\circ},7$.

Zeit 1844	Nullp. vor d. Sieden.	Siedpkt.	Nullp. nach d. Sieden.	Tem- perat.	Spannung berech- net.	beob- achtet.	Unter- schied.	Untersch. in Graden.
Juli 22	66 ^r	641 ^r ,6	66 ^r	97°,69	699,37	700,02	- 0,65	0,025
- 23	-	638,37	-	97,15	685,77	685,72	+ 0,05	0,002
- -	-	632,74	66	96,18	661,89	662,35	- 0,46	0,019
- 27	-	639,70	-	96,35	666,02	666,94	- 0,92	0,037
- -	-	628,08	66	95,40	643,19	643,26	- 0,07	0,003
Aug. 12	-	631,55	-	96,17	661,63	660,78	+ 0,85	0,035
- 12 B	-	631,40	-	96,15	661,15	669,73	+ 0,42	0,017
- -	-	625,86	-	95,21	638,70	637,37	+ 1,33	0,056
- 12 B	-	625,71	64,9	95,18	638,00	637,28	+ 0,72	0,030
- 15	-	633,30	-	96,81	677,32	676,92	+ 0,40	0,016
- 15 B	-	635,35	-	96,82	677,56	676,92	+ 0,64	0,026
- -	-	631,75	-	96,21	662,62	663,13	- 0,51	0,021
- 15 B	-	631,85	64,9	96,22	662,86	663,10	- 0,24	0,010
- 16	-	632,25	-	96,29	664,49	664,46	+ 0,03	0,001
- -	-	625,85	-	95,21	638,71	638,49	+ 0,22	0,009
- 16 B	-	626,05	64,9	95,24	639,41	639,26	+ 0,15	0,006

Man sieht, daß die Unterschiede zwischen den beobachteten und den mittelst der Barometerstände aus Hrn. Regnault's, Tafel abgeleiteten Siedpunkten nicht 0°,037 C. übersteigen, abgerechnet einen einzigen, der 0°,056 erreichte.

V. Ueber die Verschiebungen des Nullpunkts an Thermometern; von Hrn. Person.

(Compt. rend. T. XIX, p. 1314.)

Die größten Erhöhungen, die man bisher am Nullpunkt der Thermometer beobachtet hat, sind nur ein kleiner Bruch von derjenigen, die zu entstehen strebt, und nach den weiterhin angeführten Versuchen wenigstens auf 15 bis 20 Grad zu setzen ist.

Der Zusammenzug des Glases, welcher den Behälter verringert, geschieht in gewöhnlicher Temperatur nur unvollständig; nach den Beobachtungen von Despretz

beträgt das Steigen des Nullpunkts in 4 bis 5 Jahren höchstens einen halben Grad.

Bei 300° C. ist das Schwinden des Glases (*travail de verre*) bedeutender; allein da diese Temperatur noch weit von derjenigen ist, bei welcher die Erstarrung oder Härtung eintritt, so müßte man den Behälter sehr lange bei 300° C. erhalten, um eine beträchtliche Zusammenziehung zu bekommen. Die HH. Legrand und Pierre haben ihre Versuche nicht in dieser Absicht angestellt; sie erreichten bloß die Temperatur 300° C., und ließen dann erkalten; auch stiegen die größten der von ihnen beobachteten Erhöhungen selten über 1 Grad.

Indem ich bei 440° C. arbeitete, und diese Temperatur mehrere Stunden unterhielt, bekam ich Erhöhungen von 12, von 15 und selbst von 17 Grad.

Folgende Tafel enthält einen Versuch mit 6 Thermometern, die drei Stunden lang in einem Bad von Salpeter blieben, dessen Temperatur zwischen 430° und 450° C. schwankte. Sie waren aufgehängt, damit ihr eigenes Gewicht nicht zur Verkleinerung des Behälters beitrüge, und da der innere Druck etwa 4 Atmosphären betrug, so konnte diese Verkleinerung offenbar nicht dem äußeren Druck zugeschrieben werden.

Bezeichnung der Thermometer.	Steigen d. Nullpunkts während des Versuchs
Therm. No. X, seit fünf Monaten verfertigt, und in gewöhnlicher Temperatur geblieben. Nullpunkt um 0°,6 gestiegen. So viel Luft über dem Quecksilber, daß es bis auf 440° C. stieg, ohne zu siedern	13°,0
Therm. No. XIV, ganz neu. Luftleer.	17,2
Therm. No. XIII, von derselben Röhre wie No. XIV gemacht, aber vor der Füllung mit Quecksilber zwei Stunden lang bei 440° C. angelassen. Luftleer.	5,3
Therm. No. XI, durch früheres Anlassen der Nullpunkt schon um 9°,5 gestiegen. Luftleer.	2,6

Bezeichnung der Thermometer.	Steigen d. Nullpunkts während des Versuchs.
Therm. XII, durch früheres Anlassen der Nullpunkt schon um 11°,5 erhöht. Luftleer.	2°,2
Therm. VIII, durch früheres Anlassen der Nullpunkt schon um 13° erhöht. So viel Luft darin, daß es bis 460° C. steigen konnte.	1°,4

Ich füge eine Tafel hinzu, welche zeigt, wie bei No. VIII der Nullpunkt durch successives Anlassen stieg; er war bereits um 5° gestiegen, weil dieses Thermometer schon seit einiger Zeit zur Messung sehr hoher Temperaturen gedient hatte.

Temperatur.	Dauer des Anlassens.	Erhöhung des Nullpunkts.
440°	0 ^b 20'	1°,2
430	0 50	2°,6
400	1 10	1°,2
440	1 10	2°,2
440	1 10	1°,0
440	3 0	1°,4

Neben No. VIII befand sich ein anderes Thermometer, dessen Grade beinahe 22 Millimeter lang waren. Nach zweimaligem Anlassen war der Nullpunkt etwa 12 Centimeter gestiegen; dabei blieb man stehen, weil das Quecksilber fast am Ende seines Laufes war.

Alle diese Thermometer sind von Krystallglas aus demselben Hafen, mit einem daran geblasenen, nicht daran geschmolzenen Behälter.

Die allmähige Verengerung des Behälters, welche wir hier in so starkem Maasse eintreten sehen, ist eine Fehlerquelle, die man nicht immer in Rechnung ziehen kann. Wenn das Thermometer No. X drei Stunden lang in einem Bade gehalten würde, das wir als constant auf 440° C. geblieben annehmen wollen, so würde die Temperatur allmähig um 13° zu steigen scheinen. Wenn man hernach den Nullpunkt untersuchte, würde man finden,

dafs er um 13° gestiegen ist; da man aber den Gang nicht kennt, den er befolgte, so wird man unmöglich wissen können, ob die Temperatur in der That constant geblieben ist. Glücklicherweise liefert das Anlassen ein Mittel, diese Fehlerquelle so viel man will zu schwächen. Es ist z. B. gewifs, dafs das Thermometer No. VIII drei Stunden lang in einem Bade von 440° C. blieb, ohne um 1° zu variiren.

Die Thermometer XIII und XIV, die aus derselben Röhre verfertigt und unter identische Umstände versetzt sind, weichen um 12° von einander ab, weil das eine angelassen ist, das andere aber nicht. Hier sieht man deutlich die Ursache des Unterschiedes, und das Mittel, ihn zu vernichten. Die Unterschiede, die man so häufig bei den Thermometern antrifft, rühren wahrscheinlich zum grofsen Theil von derselben Ursache her, und man darf glauben, dafs man durch ein Anlassen bei 450° weit vergleichbarere Thermometer haben werde.

Hr. Despretz hat gezeigt, dafs der Behälter eines Thermometers, das erkältet wird, insgemein nicht auf seine früheren Dimensionen zurückkommt. Daraus folgt, dafs wenn man nicht lange genug erhitzt hat, um eine merkliche Zusammenziehung zu bewirken, der Nullpunkt sich nach dem Erkalten gesenkt erweist. Das Gegentheil findet statt, wenn man es lange erhitzt hat, und die Combination dieser beiden entgegengesetzten Effecte ist ohne Zweifel die Hauptursache der Unregelmäfsigkeiten, die man in den Verschiebungen des Nullpunkts wahrgenommen hat. Da die Contractionen und Dilatationen des Glases nach dem Anlassen weit regelmäfsiger sind, so ist es sehr möglich, dafs man keine Senkung des Nullpunkts mehr beobachten, und somit, da keine Erhöhung stattfindet, einen nahezu festen Punkt haben werde, wenigstens wenn man plötzliche Temperaturveränderungen vermeidet. Das ist eine noch zu studirende Aufgabe.

VI. Ueber die Theorie des Sehens; von Hrn. Sturm.

(Schluß von S. 134.)

Ich gebe nun die Rechnungen, durch welche man die Gestalt eines sehr dünnen homogenen Lichtbündels bestimmen kann, das, von einem Punkte aus, durch verschiedene Mittel gegangen ist. Nach dem verallgemeinerten Theorem von Malus sind diese Strahlen nach der letzten Brechung normal auf einer gewissen Fläche.

Betrachten wir nun irgend eine Fläche s (siehe die Fig. 18, Taf. I), bezogen auf drei rechtwinkliche Coordinaten, und vorgestellt durch eine Gleichung:

$$z=f(x,y).$$

Setzt man:

$$\frac{dz}{dx}=p, \quad \frac{dz}{dy}=q,$$

so sind bekanntlich die Gleichungen für die Normale irgend eines Punkts (x, y, z) :

$$X-x+p(Z-z)=0$$

$$Y-y+q(Z-z)=0,$$

wo X, Y, Z die laufenden Coordinaten sind.

Nimmt man zum Anfang einen Punkt O der Fläche s , zur Axe der z die Normale dieses Punkts, und zur Axe der x und y zwei unter einander winkelrechte Gerade in der den Punkt O tangirenden Ebene, so werden x, y, z, q und p für den Punkt O Null seyn, und man wird für die Normale OZ haben:

$$X=0; Y=0.$$

Betrachten wir einen anderen Punkt M , nahe beim Punkt O , und dessen Coordinaten ξ, η, ζ seyen. Setzt man:

$$\frac{dp}{dx}=r, \quad \frac{dp}{dy}=s=\frac{dq}{dx}, \quad \frac{dq}{dy}=t,$$

so wird, wenn man vom Punkt O zum Punkt M übergeht, der Werth von p :

$$p + \frac{dp}{dx}\xi + \frac{dp}{dy}\eta + \mu,$$

oder:

$$r\xi + s\eta + \mu,$$

worin p für den Punkt O Null ist, die Werthe von r und s für den Punkt O genommen sind, und μ eine GröÙe bezeichnet, deren Verhältniß zu ξ oder η gegen Null strebt, wenn ξ und η unendlich klein werden.

Eben so wird der Werth von q für den Punkt M seyn:

$$s\xi + t\eta + \nu,$$

wo s und t sich ebenfalls auf den Punkt O beziehen, und ν gegenüber ξ und η unendlich klein wird.

Die Normale des Punkts M wird also vorgestelt durch die beiden Gleichungen:

$$X - \xi + (r\xi + s\eta + \mu)(Z - \zeta) = 0$$

$$Y - \eta + (s\xi + t\eta + \nu)(Z - \zeta) = 0,$$

welche werden:

$$X - \xi + (r\xi + s\eta)Z = 0$$

$$Y - \eta + (s\xi + t\eta)Z = 0,$$

wenn man den Punkt M als dem Punkt O sehr nahe voraussetzt, also in Bezug auf ξ und η nur die Glieder erster Ordnung nimmt. Man vernachlässigt ζ , welches von zweiter Ordnung ist [weil $\zeta = \frac{1}{2}(r\xi^2 + 2s\xi\eta + t\eta^2) + \text{etc}$], und sich überdies mit sehr kleinen GröÙen erster Ordnung multiplicirt findet.

Nimmt man zur Axe der x und y die Tangenten an den beiden Hauptschnitten der Fläche im Punkt O , so hat man:

$$\xi = 0; \quad r = \frac{1}{F}; \quad t = \frac{1}{f},$$

wo F und f die beiden Hauptkrümmungsradien OF und Of der Fläche im Punkte O bezeichnen, von denen jeder positiv oder negativ seyn kann, je nachdem er im Sinne OZ oder umgekehrt gerichtet ist. Die beiden Gleichungen für die Normale des Punktes M werden:

$$X = \xi \left(1 - \frac{Z}{F}\right), \quad Y = \eta \left(1 - \frac{Z}{f}\right).$$

Diese Normale trifft die Ebene ZOX in einem Punkt, für welchen

$$Y = 0; \quad Z = f; \quad X = \xi \left(1 - \frac{f}{F}\right),$$

und die Ebene ZOY in einem anderen Punkt, für welchen

$$X = 0; \quad Z = F; \quad Y = \eta \left(1 - \frac{F}{f}\right),$$

woraus man sieht, daß sie die Gerade cfc' parallel einer durch den Krümmungsmittelpunkt f gezogenen Linie OX schneidet, in einem Punkt, dessen Abstand von dem Punkt f proportional zu ξ ist, und daß sie auch die Gerade CFC' parallel einer durch den andern Krümmungsmittelpunkt F gezogenen Linie OY schneidet, in einem Abstand von F proportional zu η . Diese Normale in M hat also die Richtung des Durchschnitts der beiden Ebenen, die durch den Punkt M und die beiden Geraden cfc' und CFC' gehen. Die Normalen oder Lichtstrahlen, die durch die verschiedenen Punkte eines sehr kleinen, um den Punkt O entweder auf der Fläche oder auf deren Tangentialebene gezogenen Umrisses gehen, stützen sich also immer auf zwei feste Gerade cfc' und CFC' , und bilden eine geregelte Fläche, deren Gleichung leicht zu erlangen ist.

Nimmt man an, dieser kleine Umriss oder diese kleine Oeffnung sey ein Kreis, die den Punkt O zum Mittelpunkt und δ zum Radius habe, so erhält man die Gleichung dieser geregelten Fläche durch Elimination von ξ und η zwischen den Gleichungen der Normale Mm :

$$X = \xi \left(1 - \frac{Z}{F}\right); \quad Y = \eta \left(1 - \frac{Z}{f}\right),$$

und der des Kreises:

$$\xi^2 + \eta^2 = \delta^2,$$

was giebt:

$$\frac{X^2}{\delta^2 \left(1 - \frac{Z}{F}\right)^2} + \frac{Y^2}{\delta^2 \left(1 - \frac{Z}{f}\right)^2} = 1.$$

Macht man Z constant, so sieht man, daß jeder Schnitt aob der geregelten Fläche senkrecht auf der Axe OZ eine Ellipse ist, deren Halbaxen, in den beiden Hauptschnitten der Fläche s liegend, sind:

$$\delta\left(1 - \frac{Z}{F}\right) \text{ und } \delta\left(1 - \frac{Z}{f}\right) \text{ oder } \delta \cdot \frac{oF}{OF} \text{ und } \delta \cdot \frac{of}{Of},$$

und deren Flächenraum ist:

$$\pi \delta^2 \left(1 - \frac{Z}{F}\right) \left(1 - \frac{Z}{f}\right) \text{ oder } \pi \delta^2 \cdot \frac{oF \cdot of}{OF \cdot Of},$$

so daß dieser Flächenraum variirt wie das Rechteck $oF \cdot of$. Das Maximum dieses Areals zwischen F und f entspricht der Mitte des Intervalls Ff , und hat zum Werth:

$$\pi \delta^2 \cdot \frac{(F-f)^2}{4Ff}.$$

In jedem der Punkte F und f reducirt sich der Durchschnitt auf eine gerade Linie. Dagegen wird der Durchschnitt ein Kreis, wenn man hat:

$$1 - \frac{Z}{F} = \frac{Z}{f} - 1 \text{ oder } \frac{F-Z}{F} = \frac{Z-f}{f},$$

das heist:

$$oF : of :: OF : Of.$$

Sein Radius ist

$$\delta \left(\frac{F-f}{F+f} \right),$$

und sein Flächenraum

$$\pi \delta^2 \left(\frac{F-f}{F+f} \right)^2.$$

Uebrigens sieht man, daß die Normale Mm der Fläche s in irgend einem dem Punkte O unendlich nahe liegenden Punkt M (ξ, η, ζ) zusammenfällt in Richtung mit der Normale des osculirenden Paraboloids, das durch die Gleichung

$$\xi = \frac{1}{2}(r\xi^2 + t\eta^2) \text{ oder } \zeta = \frac{1}{2}\left(\frac{\xi^2}{F} + \frac{\eta^2}{f}\right)$$

ausgedrückt wird, wenn man die unendlich Kleinen zweiter Ordnung in der Gleichung der Normale vernachlässigt.

Die Betrachtung zweier unendlich naher Normalen führt auf die einfachste Weise zu den Theoremen über die Krümmung der Flächen, wodurch das, was sich über die Form eines kleinen Bündels von Normalen sagen läßt, vervollständigt wird.

Nimmt man, wie oben, die Normale OZ des Punktes O einer Fläche s zur Axe der z , so hat man für die Normale Mm eines vom Punkte O um die unendlich kleine GröÙe δ entfernten Punktes M , dessen Coordinaten ξ, η, ζ sind, die Gleichungen:

$$X - \xi + (r\xi + s\eta)Z = 0$$

$$Y - \eta + (s\xi + t\eta)Z = 0,$$

wobei noch nicht $s=0$ vorausgesetzt ist.

Bezeichnend durch φ den Winkel, welchen die Ebene ZOM mit der Ebene ZOX macht, hat man:

$$\xi = \delta \cos \varphi, \quad \eta = \delta \sin \varphi.$$

Ist der Punkt M gegeben, so wird die Lage der Normale dieses Punktes bestimmt seyn, wenn man kennt: den unendlich kleinen Winkel μ , den diese Normale Mm mit ihrer Projection auf die Ebene ZOM macht, und den Winkeln ν , den diese Projection mit OZ bildet. Der erstere Winkel ist das (positive oder negative) Complement des Winkels, den die Normale Mm mit der Normale der durch den Punkt M (im Winkel MOX) gelegten Ebene ZOM bildet. Nennt man c den Cosinus des Winkels, den die Normale Mm mit der Axe OZ macht, so hat man, nach den Gleichungen dieser Normale, für die Cosinus der Winkel, die sie mit den drei Axen OX, OY, OZ macht, die Werthe:

$$-c(r\xi + s\eta), -c(s\xi + t\eta) \text{ und } c,$$

oder:

$$-c\delta(r \cos \varphi + s \sin \varphi), -c\delta(s \cos \varphi + t \sin \varphi) \text{ und } c.$$

Der Perpendikel der (in den Winkel MOX) gelegten Ebene ZOM macht mit denselben Axen Winkel, deren Cosinus sind:

$$\sin \varphi, -\cos \varphi \text{ und } 0.$$

Nach der Formel also, welche den Cosinus des Win-

kels zweier Geraden giebt, wird man, bei steter Vernachlässigung der unendlich Kleinen zweiter Ordnung, für welchen Fall $c=1$ ist, haben:

$$\sin \mu \text{ oder } \mu = \delta [(t-r) \sin \varphi \cos \varphi + s (\cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi),$$

$$\text{oder: } \mu = \frac{1}{2} \delta [(t-r) \sin 2\varphi + 2s \cos 2\varphi].$$

Betrachtet man eine andere normale Ebene ZOM' , winkelrecht auf der Ebene ZOM , so wird die Normale der Fläche s im Punkte M' mit dieser Ebene ZOM' einen Winkel μ' bilden, dessen Werth sich aus dem von μ ergibt, wenn man darin φ durch $\varphi + \frac{1}{2}\pi$ ersetzt, was giebt $\mu' = -\mu$, wobei die unendlich kleinen, die Fläche S tangirenden Längen OM , OM' als gleich und unter sich winkelrecht gedacht sind. Da die Winkel μ und μ' von entgegengesetzten Zeichen sind, so muß es, vermöge des Stetigkeitsgesetzes, zwischen OM und OM' eine intermediäre Richtung ON geben, der Art, daß die entsprechende Normale Nn sich in der nach dieser Richtung gelegten normalen Ebene befindet; sie ist bestimmt durch die Gleichung:

$$\mu = 0 \text{ oder } (t-r) \sin 2\varphi + 2s \cos 2\varphi = 0,$$

woraus

$$\tan 2\varphi = \frac{2s}{r-t}.$$

Die auf ihr senkrechte Richtung besitzt dieselbe Eigenschaft, und für jede andere Richtung wird μ nicht Null seyn, so daß der kürzeste Abstand der Normale Mm von der Normale OZ nicht unendlich klein seyn wird in Bezug auf OM .

Eben so sieht man, daß, da die Normalen der Punkte M und M' beide entweder innerhalb oder außerhalb des Winkels der zwei rechtwinklichen Ebenen ZOM und ZOM' liegen, es immer zwischen diesen beiden Ebenen eine und zwar einzige Normale geben wird, die sich strenge in Einer Ebene mit OZ befindet, und OZ schneidet, selbst wenn man nichts im Calcul vernachlässigt, sobald nur der Abstand δ hinreichend klein ist.

Diese von Hrn. Bertrand auf eine andere Weise gefundenen Eigenschaften charakterisiren, wie er gezeigt hat, ein System von Geraden, die auf Einer Fläche normal sind; sie führen zu merkwürdigen Folgerungen¹⁾.

Nimmt man die Axe OX in dieser Richtung ON , so wird φ den Winkel bezeichnen, den irgend eine Richtung OM mit ON macht, und es muß $\mu = 0$ seyn, für $\varphi = 0$, was giebt $s = 0$; der allgemeine Werth von μ wird dann:

$$\mu = \frac{1}{2} \delta (t - r) \sin 2\varphi,$$

wo r und t die Werthe von $\frac{d^2 z}{dx^2}$ und $\frac{d^2 z}{dy^2}$ für den Punkt O in Bezug auf die neuen Axen bezeichnen.

Es ist also bewiesen, daß man immer durch die

- 1) *Journ. de M. Liouville, T. IX, p. 133.* — Hr. Bertrand hat bewiesen, daß damit Gerade, deren Richtung in Function der Coordinaten irgend eines ihrer Punkte gegeben ist, normal seyen auf einer Fläche (oder auf einer Reihe von Flächen), es erfordere und genüge, daß, wenn man irgend einen Punkt O des Raums und die diesem Punkt entsprechende Gerade OZ nimmt, dann senkrecht auf OZ zwei unendlich kleine, unter sich gleiche und winkelrechte Längen OM und OM' aufträgt, die dem Punkt M entsprechende Gerade mit der Ebene ZOM einen Winkel mache, der gleich ist dem, welche die dem Punkt M' entsprechende Gerade mit der Ebene ZOM' macht.

Ich füge zu diesem Satz den folgenden, welcher ihn umfaßt und vervollständigt: Betrachtet man ein System von geraden Linien, die nach irgend einem analytischen Gesetze im Raum vertheilt sind, und auf keiner Fläche normal seyn können; nimmt man nun irgend einen Punkt O des Raums und die diesem Punkt entsprechende Gerade OZ , trägt dann senkrecht auf OZ zwei unendlich kleine, unter sich gleiche und winkelrechte Längen OM, OM' , so werden die unendlich kleinen Winkel μ und μ' , welche die dem Punkt M entsprechende Gerade mit der Ebene ZOM , und die dem Punkt M' entsprechende Gerade ZOM' bilden, eine von Null verschiedene und constante (algebraische) Summe $\mu + \mu'$ haben, wie auch die Linien OM und OM' gerichtet seyn mögen, sobald sie nur immer gleich und unter sich und auf OZ in demselben Punkt O winkelrecht sind. Bloß in dem Fall ist die Summe $\mu + \mu' = 0$, wenn die Geraden des Systems normal sind auf einer selben Fläche.

Normale OZ zwei unter sich winkelrechte Ebenen legen kann, dergestalt, daß wenn man diese Ebenen und die Tangentialebene XOY zu Coordinatebenen nimmt, man für den Punkt O habe: s oder $\frac{d^2 z}{dx dy} = 0$. Diese

Ebenen bestimmen die beiden Hauptschnitte der Fläche s .

Die Projection der jeglichen Normale Mm auf die Ebene ZOM macht mit OZ einen Winkel ν , dessen Tangente gleich ist dem Cosinus des Winkels zwischen Mm und OM , dividirt durch den Cosinus des Winkels zwischen Mm und OZ (denn diese Projection würde zur Gleichung haben:

$$X - \xi = (Z - \zeta) \tan \nu,$$

wenn man die Ebene ZOM zur Ebene der x, z nähme). Dieser letztere Cosinus weicht von der Einheit unendlich wenig ab, und ν ist unendlich klein, mithin ist:

$$\nu = \cos OMm.$$

Nun macht die Gerade Mm mit den Axen OX, OY, OZ Winkel, deren Cosinus sind:

$$-c\delta(r \cos \varphi + s \sin \varphi), -c\delta(s \cos \varphi + t \sin \varphi) \text{ und } c.$$

Für die Gerade MO sind die Cosinus:

$$-\cos \varphi, -\sin \varphi \text{ und } 0;$$

setzt man also $c=1$, so hat man: $\cos OMm$, oder:

$$\nu = \delta(r \cos^2 \varphi + 2s \sin \varphi \cos \varphi + t \sin^2 \varphi).$$

Die Ebene, welche die Normale Mm der Fläche s auf die Ebene ZOM projicirt, ist in M normal auf der Curve, nach welcher die Ebene ZOM die Fläche s schneidet; sie trifft die Normale OZ in einem Punkt, welcher bekanntlich der Krümmungsmittelpunkt dieser Curve ist. Der Krümmungshalbmesser ρ dieses normalen Schnitts ZOM ist folglich:

$$\rho = \frac{\delta}{\nu} = \frac{1}{r \cos^2 \varphi + 2s \sin \varphi \cos \varphi + t \sin^2 \varphi}.$$

Nimmt man zu Axen der x und y die Tangenten der beiden *Hauptschnitte*, so hat man:

$$s=0$$

und

$$v = \frac{1}{r \cos^2 \varphi + t \sin^2 \varphi} \text{ oder } \frac{1}{v} = r \cos^2 \varphi + t \sin^2 \varphi.$$

Und macht man $\varphi = 0$ und $\varphi = \frac{1}{2}\pi$, so hat man die Krümmungshalbmesser F und f der beiden Hauptschnitte:

$$F = \frac{1}{r}, f = \frac{1}{t};$$

dann erhält man die Euler'sche Formel:

$$\frac{1}{v} = \frac{\cos^2 \varphi}{F} + \frac{\sin^2 \varphi}{f},$$

worin F und f die Radien des größten und des kleinsten Krümmungskreises sind.

Der unendlich kleine Winkel μ wird auch:

$$\mu = \frac{1}{2} \delta \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{F} \right) \sin 2\varphi.$$

Den Krümmungshalbmesser v des von der Ebene ZOM gemachten normalen Schnitts und den Winkel ν kann man auch noch auf eine andere Weise finden; v ist der Halbmesser des in O osculirenden Kreises, der seinen Mittelpunkt auf der Normale OZ hat, und durch den Punkt $M (\xi, \eta, \zeta)$ geht; dieser Radius ist also gleich $\frac{1}{2} OM^2$, dividirt durch die Projection der unendlich kleinen Geraden OM auf OZ , d. h. gleich $\frac{\delta^2}{2\zeta}$. Nun hat man:

$$\zeta = \frac{1}{2} (r \xi^2 + 2s \xi \eta + t \eta^2)$$

$$= \frac{1}{2} \delta^2 (r \cos^2 \varphi + 2s \sin \varphi \cos \varphi + t \sin^2 \varphi),$$

also:

$$v = \frac{1}{r \cos^2 \varphi + 2s \sin \varphi \cos \varphi + t \sin^2 \varphi},$$

und wenn $s = 0$:

$$\frac{1}{v} = \frac{\cos^2 \varphi}{F} + \frac{\sin^2 \varphi}{f}.$$

Ueberdies ist der Winkel ν :

$$\nu = \frac{\delta}{v} = \delta \left(\frac{\cos^2 \varphi}{F} + \frac{\sin^2 \varphi}{f} \right).$$

Macht man ζ constant, so repräsentirt die Gleichung $\zeta = \frac{1}{2} (r \xi^2 + 2s \xi \eta + t \eta^2)$ den Schnitt, gemacht in der Fläche s durch eine Ebene, die in dem unendlich kleinen Abstand ζ der Tangentialebene XOY parallel ist.

Diese Curve oder ihre Projection auf die Tangentialebene ist eine Ellipse oder Hyperbel, die man die *Anzeigerin* (*Indicatrix*) der Fläche für den Punkt O nennt. Die Krümmungshalbmesser der verschiedenen Normalenschnitte sind proportional den Quadraten der entsprechenden Halbmesser dieses Kegelschnitts oder eines ähnlichen Kegelschnitts von endlicher Grösse.

Die Projection der Normale Mm auf die Ebene XOY hat zur Gleichung:

$$\frac{Y-\eta}{X-\xi} = \frac{s\xi + t\eta}{r\xi + s\eta},$$

oder, wenn $s=0$:

$$\frac{Y-\eta}{X-\xi} = \frac{t\eta}{r\xi} = \frac{F}{f} \tan g \varphi,$$

woraus man schließt, daß die Normale Mm sich in der durch den Punkt M gehenden, auf dem anzeigenden Kegelschnitt winkelrechten Ebene befindet, und daß demnach der kürzeste Abstand zwischen Mm und OZ eine Gerade ist, gleich und parallel dem Perpendikel, der vom Mittelpunkt der Anzeigerin oder vom Punkt O auf die Normale im Punkte M gefällt wird. Der Durchschnitt der die Fläche s im Punkt M tangirenden Ebene mit der Tangentialebene im Punkt O coincidirt auch mit dieser selben Richtung, welche auch die des conjugirten Durchmesser von OM ist, da die Tangentialebene in M zur Gleichung hat (wenn $s=0$):

$$Z-\zeta = r\xi(X-\xi) + t\eta(Y-\eta).$$

Es bleibt mir nun noch zu zeigen, wie man, bei Betrachtung eines Bündels homogener Strahlen, die, nach mehreren Brechungen, winkelrecht auf einer gewissen Fläche sind, bestimmen kann, in welchen zwei Punkten (oder Brennpunkten F und f) jeder Strahl von unendlich nahen Strahlen getroffen wird, und welche zwei Ebenen diesen Strahl und die unendlich nahen, ihn zu schneiden fähigen Strahlen enthalten. Diese beiden Punkte, die zu

der durch die folgeweisen Durchschnitte der Strahlen gebildeten Brennfläche gehören, sind für den betrachteten Strahl die Mittelpunkte des größten und des kleinsten Krümmungskreises derjenigen Fläche, auf welcher die Strahlen winkelrecht sind. Die Ebenen, die durch die consecutiven, sich schneidenden Radien gehen, sind die der Hauptschnitte dieser Fläche; es sind auch die Tangentialebenen an zwei Reihen abwickelbarer Flächen, die sich überall unter rechten Winkeln schneiden, in welche das Bündel zerfällt.

Ich habe diese Aufgabe schon in einer Abhandlung im Juliheft (1838) des Journals von Hrn. Liouville behandelt, und im Aprilheft 1844 derselben Zeitschrift ist Hr. Bertrand durch eine ihm eigene geometrische Methode zu ähnlichen Formeln, wie die meinigen, gelangt. Hier eine neue analytische Auflösung, die mir einfacher erscheint, und zu etwas allgemeineren Formeln führt.

Zuvörderst muß bemerkt werden, daß wenn Strahlen normal auf einer selben Fläche sind, sie auch normal sind auf allen, unendlich vielen Flächen, welche entstehen, wenn, von der ursprünglichen normalen Fläche aus, eine constante und willkürliche Länge auf diese Strahlen getragen wird.

Denken wir uns ein Bündel homogener Strahlen, normal auf einer Fläche s , und bei Ankunft auf irgend einer anderen Fläche S gebrochen nach dem gewöhnlichen Gesetz. Die gebrochenen Strahlen werden auch normal seyn auf einer neuen Fläche s' , oder vielmehr auf einer Unzahl von Flächen s' , die entstehen, wenn man, von der Trennungsfläche S aus, auf jedem gebrochenen Strahl eine Länge nimmt, die zu der zwischen S und s begriffenen des einfallenden Strahls, vergrößert oder verringert um eine constante Größe, in dem constanten Verhältniß des Brechungssinus zum Einfallssinus steht (s. meine erwähnte Abhandlung).

Be-

Betrachten wir nun irgend einen einfallenden Strahl und den entsprechenden gebrochenen. Seyen a, b, c die Cosinus der Winkel, welche die Normale der Trennungsfläche S am Einfallspunkt mit den drei winkelrechten Axen OX, OY, OZ bildet. Seyen α, β, γ und α', β', γ' die Cosinus der Winkel, welche der einfallende und der gebrochene Strahl mit denselben Axen bildet.

Zuvörderst muß man ausdrücken, daß diese drei Geraden sich in einer selben Ebene befinden. Man nenne ϑ den Einfallswinkel und ϑ' den Brechungswinkel; dann macht die Normale der Ebene, welche durch die Normale der Fläche S und durch den einfallenden Strahl geht, mit den Axen Winkel, deren Cosinus sind;

$$\frac{b\gamma - c\beta}{\sin \vartheta}, \frac{c\alpha - a\gamma}{\sin \vartheta}, \frac{a\beta - b\alpha}{\sin \vartheta}.$$

Eben so macht die Normale der Ebene, die durch die Normale der Fläche und den gebrochenen Strahl geht, mit den Axen Winkel, deren Cosinus sind:

$$\frac{b\gamma' - c\beta'}{\sin \vartheta'}, \frac{c\alpha' - a\gamma'}{\sin \vartheta'}, \frac{a\beta' - b\alpha'}{\sin \vartheta'}.$$

Um auszudrücken, daß diese Perpendikel coïncidiren und gleiche Richtung haben, setzt man:

$$\begin{aligned} \frac{b\gamma - c\beta}{\sin \vartheta} &= \frac{b\gamma' - c\beta'}{\sin \vartheta'} \\ \frac{c\alpha - a\gamma}{\sin \vartheta} &= \frac{c\alpha' - a\gamma'}{\sin \vartheta'} \\ \frac{a\beta - b\alpha}{\sin \vartheta} &= \frac{a\beta' - b\alpha'}{\sin \vartheta'}. \end{aligned}$$

Bezeichnet man überdies durch $\frac{\lambda}{\lambda'}$, das constante Verhältniß des Sinus vom Einfallswinkel zum Sinus vom Brechungswinkel, so hat man:

$$\frac{\sin \vartheta}{\sin \vartheta'} = \frac{\lambda}{\lambda'}.$$

Diese Gleichungen geben die folgenden:

$$\frac{b\gamma - c\beta}{\lambda} = \frac{b\gamma' - c\beta'}{\lambda'}$$

$$\frac{c\alpha - a\gamma}{\lambda} = \frac{c\alpha' - a\gamma'}{\lambda'},$$

$$\frac{a\beta - b\alpha}{\lambda} = \frac{a\beta' - b\alpha'}{\lambda'},$$

von denen zwei, nebst der $\alpha'^2 + \beta'^2 + \gamma'^2 = 1$, hinreichend sind, um α', β', γ' zu bestimmen, d. h. die Richtung des gebrochenen Strahls, wenn man die des einfallenden Strahls und die der Normale auf S kennt. Die Relationen, die zwischen diesen drei Richtungen bestehen, werden also sämmtlich ausgedrückt durch die zwei Gleichungen:

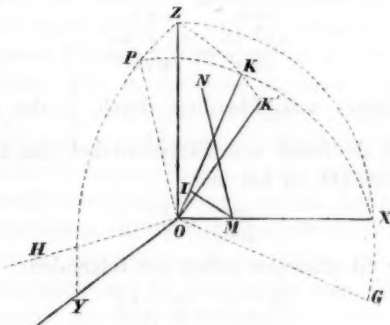
$$\frac{1}{\lambda} (a\gamma - c\alpha) = \frac{1}{\lambda'} (a\gamma' - c\alpha')$$

$$\frac{1}{\lambda} (b\gamma - c\beta) = \frac{1}{\lambda'} (b\gamma' - c\beta').$$

Betrachtet man auf der Fläche S einen andern Einfallspunkt, unendlich nahe dem ersten, so erfahren die Cosinus a, b, c, α etc., beim Uebergang vom ersten zum zweiten, gleichzeitige Anwüchse da, db etc., und man erhält durch Differentiation der beiden vorstehenden Gleichungen:

$$\frac{1}{\lambda} (\gamma da + a d\gamma - c d\alpha - \alpha dc) = \frac{1}{\lambda'} (\gamma' da + a d\gamma' - c d\alpha' - \alpha' dc)$$

$$\frac{1}{\lambda} (\gamma db + b d\gamma - c d\beta - \beta dc) = \frac{1}{\lambda'} (\gamma' db + b d\gamma' - c d\beta' - \beta' dc).$$



Nehmen wir nun zum Anfangspunkt der Coordinaten den ersten Einfallspunkt O , zur Axe der z die Normale OZ der trennenden Fläche S , und zur Ebene der xz die Ebene ZOM , die durch diese Normale OZ und den zweiten Einfallspunkt M geht, welchen man dann als auf der Axe OX liegend ansehen kann. Dann hat man für diese Axensysteme:

$$a=0 ; b=0 ; c=1$$

$$\gamma=\cos \vartheta ; \gamma'=\cos \vartheta',$$

und auch $dc=0$, wegen der Relation $a^2+b^2+c^2=1$, welche giebt:

$$ada+bdb+cdc=0.$$

Die vorstehenden vier Gleichungen werden:

$$\frac{a}{\lambda} = \frac{\alpha'}{\lambda'} \quad \frac{\beta}{\lambda} = \frac{\beta'}{\lambda'}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{\lambda} (\gamma da - d\alpha) &= \frac{1}{\lambda'} (\gamma' da - d\alpha') \\ \frac{1}{\lambda} (\gamma db - d\beta) &= \frac{1}{\lambda'} (\gamma' db - d\beta') \end{aligned} \right\} (a)$$

Man hat nun die geometrischen Werthe von da , db , $d\alpha$ etc. zu suchen.

Sobald die Axen irgend welche sind, ist das Verhältniß $\frac{a}{c}$ in Bezug auf die Normale des Punktes O der Fläche S bekanntlich gleich der Tangente des Winkels, welchen die Projection dieser Normale auf die Ebene der xz mit der Axe der z bildet. Für die gegenwärtigen Axen, wo OZ die Normale ist, ist dieß Verhältniß $\frac{a}{c}$ gleich Null, weil $a=0$ und $c=1$. Für die unendlich nahe Normale Mm ist $\frac{a+da}{c+dc}$ die analoge Gröfse, die sich auf da reducirt, und die gleich ist der Tangente des unendlich kleinen Winkels (oder diesem Winkel selbst), welche die Projection der Normale Mm auf die Ebene ZOX mit OZ bildet. Nun ist dieser Winkel auch gleich $\frac{\delta}{\varrho}$, wenn δ den unendlich kleinen Ab-

stand OM bezeichnet, und ϱ den Krümmungshalbmesser des durch die Ebene ZOX in der Fläche S gemachten normalen Schnitts. Denn der Krümmungsmittelpunkt dieses Schnitts ist der Punkt, wo die Normale OZ zusammenrifft mit der im Punkt M auf der Curve OM normalen Ebene, und diese Ebene ist diejenige, welche die Normale MN auf die Ebene ZOM projectirt.

Man hat also:

$$da = \frac{\delta}{\varrho}.$$

Ueberdies giebt die Euler'sche Formel:

$$\frac{1}{\varrho} = \frac{\cos^2 \omega}{R} + \frac{\sin^2 \omega}{r},$$

wenn man nennt: R und r die beiden Hauptkrümmungshalbmesser der Fläche S für den Punkt O , und ω den Winkel zwischen der Ebene ZOX und der Ebene des Hauptschnitts von S , der die kleinste Krümmung $\frac{1}{R}$ besitzt.

Sonach ist:

$$da = \frac{\delta}{\varrho} = \delta \left(\frac{\cos^2 \omega}{R} + \frac{\sin^2 \omega}{r} \right).$$

Die Normale MN macht mit der Axe OY einen Winkel, dessen Cosinus $b + db$ ist, oder einfach db , weil $b = 0$. Allein dieser Winkel ist das Complement des unendlich kleinen Winkels, welchen diese Normale mit der Ebene ZOX macht, und welche zum Ausdruck hat:

$$\frac{1}{2} \delta \cdot \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) \sin 2\omega.$$

Man hat also:

$$db = \frac{1}{2} \delta \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) \sin 2\omega.$$

Um $d\alpha$ und $d\beta$ zu berechnen, denke man sich, in der Ebene KOX , gelegt durch den einfallenden Strahl OK und den Punkt M , die Gerade OG winkelrecht auf dem einfallenden Strahl OK , ferner OH winkelrecht auf dieser Ebene KOX . Man bezeichne durch g, h, k die Winkel, welche irgend ein einfallender Strahl mit diesen drei rechtwinklichen Geraden OG, OH, OK

macht, durch α den Cosinus des Winkels, welchen dieser beliebige Strahl mit der Linie OX macht, so hat man, gemäß der Formel, welche den Cosinus des Winkels zweier Geraden, bezogen auf drei rechtwinkliche Axen giebt:

$$\alpha = g \cos GOX + h \cos HOX + k \cos KOX,$$

oder:

$$\alpha = g \sin KOX + k \cos KOX,$$

da die Linie OX mit den drei rechtwinklichen Axen OG , OH , OK Winkel macht, deren Cosinus respective sind:

$$\sin KOX, 0, \cos KOX.$$

Da β der Cosinus des Winkels ist, den derselbe einfallende Strahl mit OY macht, so hat man eben so:

$$\beta = g \cos GOY + h \cos HOY + k \cos KOY.$$

Für einen unendlich benachbarten einfallenden Strahl hat man (da die Axen OG , OH , OK fest bleiben, so gut wie OX , OY , OZ):

$$d\alpha = dg \sin KOX + dk \cos KOX$$

$$d\beta = dg \cos GOY + dh \cos HOY + dk \cos KOY.$$

Wenn diese beiden einfallenden Strahlen diejenigen sind, die auf die Punkte O und M fallen, so wird man haben:

$$g=0, h=0, k=1,$$

ferner $dk=0$, weil $g dg + h dh + k dk = 0$.

Betrachtet man unter allen auf den einfallenden Strahlen winkelrechten Flächen s diejenige, welche durch den Punkt M geht, und OK in einem Punkt I schneidet, so ist dg (wie man es für da gesehen hat) gleich dem Winkel zwischen OK und der Projection des in M einfallenden Strahls auf die Ebene KOM oder gleich der unendlich kleinen Linie OI oder $\delta \sin KOX$, dividirt durch den Krümmungshalbmesser des normalen Schnitts, gemacht in dieser Fläche durch die Ebene KOM . Allein dieser Halbmesser weicht unendlich wenig ab vom Halbmesser ρ des Schnitts, gemacht von der Ebene KOM in die auf den einfallenden Strahlen winkelrechte Fläche,

die durch den Punkt O geht; der umgekehrte Werth dieses Halbmessers ist:

$$\frac{1}{v} = \frac{\cos^2 \varphi}{F} + \frac{\sin^2 \varphi}{f},$$

wenn man durch F und f die beiden Hauptkrümmungshalbmesser der Fläche s für den Punkt O bezeichnet, und durch φ den Winkel, den die auf s winkelrechte Ebene KOM mit demjenigen Hauptschnitt von s macht, dessen Krümmung $\frac{1}{F}$ ist.

Man hat also, den Winkel KOX mit τ bezeichnend:

$$dg = \frac{\delta \sin \tau}{v} = \delta \sin \tau \left(\frac{\cos^2 \varphi}{F} + \frac{\sin^2 \varphi}{f} \right),$$

und folglich:

$$d\alpha = \frac{\delta \sin^2 \tau}{v} = \delta \sin^2 \tau \left(\frac{\cos^2 \varphi}{F} + \frac{\sin^2 \varphi}{f} \right),$$

da dk Null ist.

Die Gröfse $h + dh$, oder einfach dh , weil h gleich Null, ist der Cosinus des Winkels, welchen der in M einfallende Strahl mit OH macht, oder der Sinus des unendlich kleinen Winkels zwischen diesem Strahl und seiner Projection auf die Ebene KOM . Es ist also dh gleich diesem Winkel, dessen Werth ist:

$$\frac{1}{2} MI \left(\frac{1}{f - OI} - \frac{1}{F - OI} \right) \sin^2 \varphi,$$

denn $F - OI$ und $f - OI$ sind die Hauptkrümmungshalbmesser der auf den einfallenden Strahlen winkelrechten Fläche s , die durch den Punkt M geht, und dieselben Hauptebenen hat wie die, welche durch den Punkt O geht. Da man die unendlich Kleinen zweiter Ordnung vernachlässigen muß, und da $MI = \delta \sin KOX = \delta \sin \tau$, so wird der Werth von dh :

$$dh = \frac{1}{2} \delta \sin \tau \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{F} \right) \sin^2 \varphi.$$

Wenn die Ebene KOX die Ebene ZOY nach OP schneidet, so hat man in der rechtwinklichen Ecke, welche von den drei Geraden OG , OY , OP gebildet wird:

$$\cos GOY = \cos GOP \cdot \cos YOP = -\cos KOX \cdot \sin ZOP.$$

Der Winkel ZOP ist nichts Anderes als der Kantenwinkel ZXK der Ebene ZOX und KOX . Nun hat man in der von den drei Geraden OZ, OX, OK gebildeten Ecke:

$$\cos KOX = \cos ZOX \cdot \cos ZOK + \sin ZOX \sin ZOK \cos KZX,$$

oder:

$$\cos KOX = \sin \vartheta \cos \varepsilon,$$

wenn ε bezeichnet: den Kantenwinkel KZX zwischen der Ebene ZOM und der Ebene $OZKK'$, welche den einfallenden Strahl OK und den entsprechenden gebrochenen OK' enthält. Man hat ferner:

$$\sin ZXK \text{ oder } \sin ZOP : \sin KZX :: \sin ZOK : KOX,$$

woraus:

$$\sin ZOP = \frac{\sin \vartheta \sin \varepsilon}{\sin \tau},$$

Daraus folgt:

$$\cos GOY = -\cos KOX \cdot \sin ZOP = -\frac{\sin^2 \vartheta \sin \varepsilon \cos \varepsilon}{\sin \tau},$$

und das Glied $dg \cdot \cos GOY$ in dem Werth von $d\beta$ wird:

$$-\frac{1}{2} \delta \left(\frac{\cos^2 \varphi}{R} + \frac{\sin^2 \varphi}{r} \right) \sin^2 \vartheta \sin 2\varepsilon.$$

Der Winkel HOY ist auch gleich dem Kantenwinkel der Ebenen ZOX und KOX oder gleich ZOP , und dieselbe Ecke $OZ XK$, oder vielmehr die Ecke $OZ KP$, giebt:

$$\cos ZOK = \sin KOX \cos ZOP \text{ oder } \cos \vartheta = \sin \tau \cos HOY.$$

Das Glied $dh \cos HOY$ in dem Werthe von $d\beta$ wird somit:

$$\frac{1}{2} \delta \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{F} \right) \sin 2\varphi \cos \vartheta,$$

so dafs man hat:

$$d\beta = -\frac{1}{2} \delta \left(\frac{\cos^2 \varphi}{R} + \frac{\sin^2 \varphi}{r} \right) \sin^2 \vartheta \sin 2\varepsilon + \frac{1}{2} \delta \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{F} \right) \sin 2\varphi \cos \vartheta.$$

Eben so erhält man die Werthe von $d\alpha'$ und $d\beta'$, die sich auf den gebrochenen Strahl OK' beziehen, wenn man für diesen Strahl durch F', f', φ', τ' die analogen Gröfsen bezeichnet, die für den einfallenden Strahl OK mit F, f, φ, τ bezeichnet wurden. Die Kantenwinkel ε

und ω sind für beide Strahlen dieselben, und man hat die Relationen:

$$\cos \tau = \sin \vartheta \cos \varepsilon, \quad \cos \tau' = \sin \vartheta' \cos \varepsilon.$$

Setzt man alle diese Werthe in die beiden obigen Gleichungen (a), so erhält man zunächst die Formel:

$$\frac{1}{\lambda} \left(\frac{\cos \vartheta}{\varrho} - \frac{\sin^2 \tau}{v} \right) = \frac{1}{\lambda'} \left(\frac{\cos \vartheta'}{\varrho} - \frac{\sin^2 \tau'}{v'} \right),$$

oder vielmehr:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\lambda} \left[\left(\frac{\cos^2 \omega}{R} + \frac{\sin^2 \omega}{r} \right) \cos \vartheta - \left(\frac{\cos^2 \varphi}{F} + \frac{\sin^2 \varphi}{f} \right) \sin^2 \tau \right] \\ &= \frac{1}{\lambda'} \left[\left(\frac{\cos^2 \omega}{R} + \frac{\sin^2 \omega}{r} \right) \cos \vartheta' - \left(\frac{\cos^2 \varphi'}{F'} + \frac{\sin^2 \varphi'}{f'} \right) \sin^2 \tau' \right] \end{aligned} \quad (b)$$

Dies ist die Formel (32) meiner ersten Abhandlung; sie errichtet eine Beziehung zwischen den Krümmungshalbmessern der normalen Schnitte, gemacht in die drei Flächen S, s, s' durch drei Ebenen, deren gemeinschaftliche Durchschnittslinie OM willkürlich auf der Tangentialebene von S genommen worden ist.

Man findet ferner:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\lambda} \left[\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) \sin 2\omega \cos \vartheta - \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{F} \right) \sin 2\varphi \cos \vartheta \right. \\ &= \frac{1}{\lambda'} \left[\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) \sin 2\omega \cos \vartheta' - \left(\frac{1}{f'} - \frac{1}{F'} \right) \sin 2\varphi' \sin \vartheta' \right. \\ & \quad \left. + \left(\frac{\cos^2 \varphi}{F} + \frac{\sin^2 \varphi}{f} \right) \sin 2\varepsilon \sin^2 \vartheta \right] \\ & \quad \left. + \left(\frac{\cos^2 \varphi'}{F'} + \frac{\sin^2 \varphi'}{f'} \right) \sin 2\varepsilon \sin^2 \vartheta' \right] \end{aligned} \quad (c)$$

Für jede willkürliche Richtung von OM hat man zwei ähnliche Gleichungen.

Nimmt man die Linie OMX nach dem Durchschnitt der die Fläche S tangirenden Ebene mit der Ebene $OZKK'$, welche die Normale OZ , den einfallenden Strahl OK und den gebrochenen OK' enthält, so werden die Winkel τ und τ' die Complementary von ϑ und ϑ' , und die Formel (b) giebt:

$$\frac{1}{\lambda} \left(\frac{\cos \vartheta}{\varrho} - \frac{\cos^2 \vartheta}{v} \right) = \frac{1}{\lambda'} \left(\frac{\cos \vartheta'}{\varrho} - \frac{\cos^2 \vartheta'}{v'} \right),$$

oder:

$$\frac{1}{\lambda} \left[\left(\frac{\cos^2 \omega}{R} + \frac{\sin^2 \omega}{r} \right) \cos \vartheta - \left(\frac{\cos^2 \varphi}{F} + \frac{\sin^2 \varphi}{f} \right) \cos^2 \vartheta \right] \\ = \frac{1}{\lambda'} \left[\left(\frac{\cos^2 \omega'}{R} + \frac{\sin^2 \omega'}{r} \right) \cos \vartheta' - \left(\frac{\cos^2 \varphi'}{F'} + \frac{\sin^2 \varphi'}{f'} \right) \cos^2 \vartheta' \right] \quad (d)$$

ϱ , v und v' sind nun die Krümmungshalbmesser der Schnitte, gemacht in die drei Flächen S , s , s' durch die auf ihnen normale Ebene ZOK , und ω , φ , φ' sind die Winkel zwischen dieser Ebene und den Ebenen der Hauptschnitte oder der größten Krümmungskreise dieser selben Flächen.

Setzt man zweitens voraus, OM sey lothrecht auf der Ebene ZOK , so werden die Winkel τ , τ' rechte seyn, und man muß die Winkel ω , φ , φ' , die bestimmte werden, um $\frac{1}{2}\pi$ vergrößern. Alsdann giebt die Formel (b):

$$\frac{1}{\lambda} \left(\frac{\cos \vartheta}{\varrho_1} - \frac{1}{u} \right) = \frac{1}{\lambda'} \left(\frac{\cos \vartheta'}{\varrho_1} - \frac{1}{u'} \right),$$

oder:

$$\frac{1}{\lambda} \left[\left(\frac{\sin^2 \omega}{R} + \frac{\cos^2 \omega}{r} \right) \cos \vartheta - \left(\frac{\sin^2 \varphi}{F} + \frac{\cos^2 \varphi}{f} \right) \right] \\ = \frac{1}{\lambda'} \left[\left(\frac{\sin^2 \omega'}{R} + \frac{\cos^2 \omega'}{r} \right) \cos \vartheta' - \left(\frac{\sin^2 \varphi'}{F'} + \frac{\cos^2 \varphi'}{f'} \right) \right] \quad (e)$$

ϱ_1 , u , u' sind hier die Krümmungshalbmesser der normalen Schnitte, gemacht in die Ebenen S , s , s' durch die Ebenen, welche durch deren gemeinschaftliche, auf der Ebene ZOK lothrechte Tangente gehen. Ueberdies weiß man, dafs:

$$\frac{1}{\varrho} + \frac{1}{\varrho_1} = \frac{1}{R} + \frac{1}{r}, \quad \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{F} + \frac{1}{f}, \quad \frac{1}{v'} + \frac{1}{u'} = \frac{1}{F'} + \frac{1}{f'}$$

Die Gleichungen (d) und (e) sind die Formeln (33) und (34) meiner ersten Abhandlung, und (c) und (e) des Hrn. Bertrand.

Angenommen, die Ebene ZOM falle zusammen mit der Ebene ZOK , oder sey auf ihr lothrecht, hat man:

$$\varepsilon = 0 \text{ oder } \varepsilon = \frac{1}{2}\pi,$$

und in diesem Falle reducirt sich die Formel (c) auf diese:

$$= \frac{\cos \vartheta}{\lambda} \left[\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) \sin 2\omega - \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{F} \right) \sin 2\varphi \right] \Bigg\} (f)$$

$$= \frac{\cos \vartheta'}{\lambda'} \left[\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) \sin 2\omega - \left(\frac{1}{f'} - \frac{1}{F'} \right) \sin 2\varphi' \right] \Bigg\}$$

Diese drei Formeln (d), (e) und (f) lassen die Größen F' , f' , φ' berechnen, wenn man R , r , ω , F , f und φ kennt, d. h. man wird die Krümmungshalbmesser und die Hauptschnitte der auf den gebrochenen Strahlen lothrechten Fläche bestimmen können, wenn man für die auf den einfallenden Strahlen lothrechte Fläche und die trennende Fläche die entsprechenden Elemente kennt.

Uebrigens lassen sich diese Elemente auch durch eine andere Rechnung, so wie durch eine in meiner ersten Abhandlung angezeigte geometrische Construction bestimmen.

Wenn also Lichtstrahlen, die von einem Punkte ausgehen, eine Reihe Brechungen erleiden, so kann man nach jeder Brechung für jeglichen Strahl bestimmen: die beiden Ebenen, worin sich die unendlich nahen und ihn schneidenden Strahlen befinden, und die beiden Durchschnittpunkte F und f , die den beiden Theilen (*nappes*) der aus der Durchschneidung successiver Strahlen gebildeten Brennfläche angehören. Diese Elemente bestimmen die Gestalt des gesammten dünnen Bündels, welches durch eine kleine Oeffnung geht. Die Rechnungen würden wenig einfacher seyn bei einem centralen, nicht abgelenkten Strahl, der auf allen brechenden Flächen lothrecht wäre; wenn aber die Ebenen der Hauptschnitte, nach diesem Strahle, dieselben wären für alle diese Flächen, so bedürfte man nur der gewöhnlichen Formeln, welche die Brennpunkte für sphärische Linsen geben. Der Gang der Strahlen durch die Mittel des Auges trägt keine solche Vereinfachung, und kann nur nach den obigen allgemeineren und verwickelteren Formeln streng berechnet werden. Dazu müßte man aber die Brechungsverhältnisse der verschiedenen Mittel, so wie

die Krümmungshalbmesser und die Ebenen der Hauptschnitte ihrer Flächen für jeden Einfallspunkt des centralen Strahls des Bündels kennen.

VII. Ueber die Bestimmung der Dichtigkeit der Gase; von Hrn. V. Regnault.

(*Compt. rend. T. XX, p. 975.*)

Die Methode, welche man gewöhnlich anwendet, um die Dichtigkeit der Gase zu bestimmen, besteht darin, dafs man einen grossen Glasballon wägt:

1) Wenn derselbe vollkommen trockne Luft enthält, bei einer bekannten Temperatur t , und unter dem Druck H der Atmosphäre.

2) Nachdem derselbe so weit ausgepumpt worden, dafs die innere Luft nur noch einen sehr schwachen Druck h ausübt, bei einer Temperatur t , die ich, der Einfachheit wegen, als gleich der bei der ersten Wägung voraussetze.

3) Nachdem derselbe mit dem vollkommen reinen Gase gefüllt worden, unter dem Druck H' der Atmosphäre und der Temperatur t' .

4) Endlich, nachdem derselbe abermals so weit ausgepumpt worden, dafs das Gas nur einen sehr schwachen Druck h' bei der Temperatur t' ausübt.

Seyen P, p, P', p' die durch diese vier Wägungen erhaltenen Gewichte.

Das Gewicht der Luft, welches den Ballon bei der Temperatur t und unter dem Druck $H - h$ füllt, ist $P - p$; mithin wird das Gewicht der Luft, welches denselben bei 0° und unter dem Druck von 760 Millimetern füllen würde:

$$(P - p) \frac{760}{H - h} \cdot \frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha t'}.$$

worin α der Ausdehnungscoefficient der Luft, und k der des Glases.

Das Gewicht des Gases ist $P' - p'$ unter dem Druck $H' - h'$ bei der Temperatur t' . Das Gewicht desselben Gases, welches den Ballon bei 0° und 760 Millm. Druck füllte, würde seyn:

$$(P' - p') \frac{760}{H' - h'} \cdot \frac{1 + \alpha t'}{1 + \alpha t'}$$

vorausgesetzt, dafs der Ausdehnungscoefficient des Gases derselbe sey, wie der der Luft.

Die Dichtigkeit des Gases wird vorgestellt durch das Verhältnifs dieser beiden Gewichte:

$$\frac{P' - p'}{P - p} \cdot \frac{H - h}{H' - h'} \cdot \frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha t'} \cdot \frac{1 + \alpha t'}{1 + \alpha t}$$

Die Methode erfordert die genaue Kenntnifs mehrerer Elemente, deren Bestimmung im Allgemeinen grofse Unsicherheiten darbietet.

Man mufs die Temperaturen t und t' der Luft und des Gases für den Moment der Verschließung des Ballons sehr genau kennen. Gewöhnlich begnügt man sich, ein in der Nähe des Ballons aufgehängtes Thermometer zu beobachten. Diefs Verfahren ist aber sehr mangelhaft; das Thermometer wird von fremdartigen Umständen ergriffen, und die von ihm angezeigte Temperatur kann beträchtlich verschieden seyn von der der umgebenden Luftschichten, und um so mehr von der des Gases, welches den Ballon füllt.

In neuerer Zeit haben sich die Herren Dumas und Boussingault sehr erfolgreich mit der Bestimmung der Dichtigkeit einiger Gase beschäftigt ¹⁾. Sie bringen das Thermometer, welches die Temperatur des Gases anzeigen soll, mitten in den Ballon, und zur gröfseren Sicherheit machen sie diese Temperatur sehr wenig veränderlich, indem sie den Ballon in einen künstlichen Keller bringen, in ein grofses cylindrisches Gefäfs von Zink

1) *Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. III, p. 270.*

mit doppelten Wänden. Der ringförmige Raum zwischen den beiden Wänden ist gefüllt mit Wasser von einer Temperatur, die wenig von der der umgebenden Luft abweicht. Bei dieser Vorrichtung läßt sich annehmen, daß die Temperatur des Gases mit hinlänglicher Genauigkeit bekannt sey.

Allein die größten Unsicherheiten liegen in den Wägungen des Ballons; denn man muß diesen Ballon in der Luft wägen, und um sein wahres Gewicht zu erhalten, muß man zu seinem scheinbaren Gewicht das Gewicht der durch seine äußere Hülle verdrängten Luft hinzufügen. Nun aber ist dieß letztere Gewicht in gewissen Fällen bedeutender als das des Gases, welches den Ballon füllt, so daß dasselbe wenigstens mit einer gleichen Genauigkeit bekannt seyn muß. Bis zu einem gewissen Punkt sind wir Meister des Gases, welches wir in den Ballon treten lassen; wir können es auf eine Weise bereiten, die uns seiner Reinheit versichert; allein dieß gilt nicht von der äußern atmosphärischen Luft, wir müssen sie nehmen, wie sie ist. In einem eingeschlossenen Zimmer kann aber die Luft ihre Zusammensetzung sehr merklich ändern; ihre Temperatur, ihr Feuchtigkeitsgehalt schwankt unaufhörlich. Die HH. Dumas und Bous-singault haben geglaubt, die hieraus entspringenden Fehler vollständig zu vermeiden, indem sie unter ihrer Waage einen mit Blei belegten Schrank anbrachten, in welchem der an den Haken einer der Waagschalen aufgehängte Ballon schwebte. In diesem Schrank ist ein sehr empfindliches Thermometer angebracht, welches die Temperatur der Luft giebt. Diese Einrichtung ist sicher weit vorzüglicher als die gewöhnliche, bei welcher man den Ballon frei in der Luft des Zimmers schweben läßt. Der im Schrank hängende Ballon ist geschützt vor Luftströmungen, welche die Wägungen sehr unsicher machen, und die Luft, in der er schwebt, ändert ihre Temperatur nur sehr langsam. Allein sie entfernt nicht die Fehler-

quellen, die aus Veränderungen im Zusammensatz der Luft entspringen, und diese sind keinesweges zu vernachlässigen, besonders wenn es sich um sehr leichte Gase, z. B. um Wasserstoffgas handelt.

Zur selben Zeit, da die HH. Dumas und Bous-singault ihre Gaswägungen machten, beschäftigte ich mich meinerseits mit der Bestimmung der Dichtigkeiten des Wasserdampfs unter verschiedenem Druck, namentlich unter einem sehr schwachen. Diese Versuche gehören zu einer Arbeit über die Hygrometrie, die ich seit mehreren Jahren verfolgt habe ¹⁾. Ich war überrascht von den Unsicherheiten, welche die gewöhnlichen Methoden der Gaswägung darbieten, besonders in Bezug auf die Veränderungen im Zusammensatz der Luft, die mir von den Physikern zu wenig beachtet schienen, und ich ward auf eine Methode geführt, die mir einen durch die bisherigen nicht gelieferten Grad von Sicherheit und Genauigkeit darboten.

Ich vermeide die Unsicherheiten, die aus den Veränderungen der den zu wägenden Ballon umgebenden Luft entspringen, vollständig und durch einen sehr einfachen Kunstgriff. Statt den an eine der Waagschalen gehängten Ballon durch in die andere Schale gelegte Gewichte zu äquilibriren, thue ich es mittelst eines zweiten Ballons, der hermetisch verschlossen ist, und äußerlich dasselbe Volum besitzt, wie der erste Ballon. Diesen zweiten Ballon hängt man unten an die zweite Schale der Waage, so dafs er mit dem ersten Ballon in einer und derselben Luftschicht schwebt. Die beiden Ballone verdrängen genau ein gleiches Luftvolum. Alle Veränderungen, welche der Luft überkommen, erstrecken sich genau in gleicher Weise auf beide Ballone, sie mögen von Aenderungen in der Temperatur, im Druck der Atmosphäre oder im Zusammensatz der Luft entspringen. Man braucht im Moment der Wägung nicht mehr das

1) S. S. 135 u. 321 dieses Bandes.

Thermo-, Baro- und Hygrometer zu beobachten; es genügt, zu warten, bis die Ballone sich in's Temperaturgleichgewicht gesetzt haben, und ist dies einmal eingetreten, verbleibt es unbestimmt lange. Man hat folglich ein ganz sicheres Kennzeichen, zu erfahren, wann man die Wägungen aufzeichnen müsse.

Diese Methode bietet noch einen anderen Vorzug. Das Glas ist eine sehr hygroskopische Substanz; die Wassermenge, welche es auf seiner Oberfläche verdichtet, verändert sich mit dem Feuchtigkeitszustand der Luft; diese Menge muß also bei verschiedenen Wägungen variiren und eine neue Fehlerquelle herbeiführen. Diese Fehlerquelle ist bei meinem Verfahren vollständig vermieden. Da die beiden Ballone von demselben Glase sind, so kann man annehmen, sie verdichten nahezu gleiche Mengen Feuchtigkeit, wenn sie in dieselbe Luft gebracht sind; es genügt also, die Ballone in demselben Moment abzuwischen, und sie eine hinlängliche Zeit an den Haken der Waage hängen zu lassen, damit sie sich genau für Temperatur und Feuchtigkeit in's Gleichgewicht setzen. Man erkennt übrigens den Eintritt dieses Moments an der Constanz der Angaben der Waage.

Die Ballone fassen etwa 10 Liter. Derjenige, welcher das Gas enthalten soll, hat eine Fassung mit Hahn; diese Fassung ist auf dem Hals des Ballons auf eine eigenthümliche Weise befestigt, vermöge welcher man den Ballon, und selbst den Hahn, ohne Unbequemlichkeit dem Dampf von siedendem Wasser aussetzen kann. Die Fassung besteht aus zwei Stücken, die mittelst einer Schraube gegeneinander geprefst werden und eine Hohlkehle zwischen sich lassen. Man umgiebt den Hals des Ballons mit einem Wulst von Werg, der mit einem Kitt aus gleichen Theilen Mennige und Bleiweifs, und so viel Leinöl, daß ein harter Teig entsteht, stark getränkt ist. Schraubt man die beiden Stücke der Fassung zusammen, so comprimirt man den Hanfwulst in der Hohlkehle, und

der Ueberschufs des Kitts dringt zwischen den beiden genäherten Flächen heraus. Damit der Kitt nicht in den Ballon dringen könne, ist der obere Rand der Oeffnung des Halses genau gegen die Unterfläche des Hahns abgerieben.

Dieser Kitt trocknet sehr rasch ein, besonders wenn man den Ballon mehrmals in Dampf von siedendem Wasser erhitzt; ein Theil des Leinöls wird ausgeprefst, der Kitt wird steinhart, und schiefst endlich vollkommen hermetisch, nicht blofs in der Kälte, sondern auch in höheren Temperaturen, ohne dafs plötzliche Temperaturänderungen Risse hervorbringen.

Wenn der Ballon vorgerichtet ist, bestimme ich genau das Luftvolum, welches von seiner Aussenfläche verdrängt wird. Zu dem Ende fülle ich ihn ganz mit Wasser, und wäge ihn untergetaucht im Wasser, das genau dieselbe Temperatur hat wie das, welches den Ballon füllt. Das scheinbare Gewicht des Ballons ist ziemlich unbedeutend, so dafs es mit einer Fortin'schen Waage bestimmt werden kann. Ich ziehe nun den Ballon aus dem Wasser, wische ihn auswendig ab, und wäge ihn, gefüllt mit Wasser, auf einer andern Waage, mittelst deren man sein Gewicht bis auf ein Decigramm bestimmen kann. Der Unterschied zwischen diesen beiden Wägungen giebt das Gewicht des Wassers, welches von der Aussenfläche des Ballons verdrängt wird.

Ich wähle nun einen zweiten Ballon von demselben Glase und nahe zu derselben Geräumigkeit; ich bestimme auf dieselbe Weise das Gewicht des Wassers, welches sein äufseres Volum verdrängt, mit der Sorgfalt, ihn in Wasser zu wägen, welches genau dieselbe Temperatur hat wie das, worin der erste Ballon gewägt wurde. Ich will annehmen, das äufseres Volum dieses zweiten Ballons sey etwas geringer, als das des ersten, versehen mit seiner Fassung; ich befestige auf den Hals dieses zweiten Ballons mit gewöhnlichem Harzkitt eine messingene Fas-

Fassung, die zur Anhängung des Ballons an die Schale der Waage mit einem Haken versehen ist. Das Gewicht des von dieser Fassung verdrängten Wassers, hinzugefügt zu dem Gewicht, welches, wie wir vorhin gefunden, das äufsere Volum des Ballons an Wasser verdrängt, soll, wie ich annehme, auch um n Grammen geringer seyn als das Wassergewicht, welches der erste Ballon verdrängt; ich brauche also nur noch an den zweiten Ballon eine an beiden Enden zugeschmolzene Glasröhre zu hängen, die genau n Kubikcentimeter Wasser verdrängt.

Ehe ich den zweiten Ballon mit seiner Fassung hermetisch verschliesse, bringe ich darin eine gewisse Menge Quecksilber, eine solche, dafs wenn beide, luftvoll, an die Waage gehängt sind, man auf Seite des Ballons mit Hahn ungefähr 10 Grm. hinzufügen mufs, um Gleichgewicht herzustellen.

Die beiden solchergestalt vorgerichteten Ballone wurden mehrfach auf die Probe gestellt, um sich zu versichern, dafs sie den Erfordernissen genügen. Sie blieben vierzehn Tage lang an den Schalen der Waage hängen, und während dieser ganzen Zeit erhielt sich das Gleichgewicht in aller Strenge, obwohl unterdeß die Temperatur der Luft von 0° bis 17° , und der barometrische Druck von 741 bis 771 Millimeter schwankte.

Die Art des Operirens ist im Allgemeinen folgende. Nachdem der Ballon so vollständig wie möglich evacuirt worden, verknüpft man ihn mit dem Apparat zur Entwicklung des Gases, dessen Dichtigkeit bestimmt werden soll; man öffnet den Hahn so weit, dafs das Gas in dem Apparat einen geringen Ueberschufs an Druck behält. Wenn der Ballon mit Gas gefüllt ist, verbindet man ihn abermals mit der Luftpumpe, evacuirt sehr vollständig, und füllt ihn wiederum mit Gas. Zur Vermeidung jeder Temperaturcorrection, einer Correction, welche die Kenntnifs des Ausdehnungscoëfficienten des Gases erfordern würde, stellt man den Ballon in ein Gefäfs von Zink,

in welchem man ihn vollständig mit schmelzendem Eise umhüllt. Ehe man den Ballon verschließt, setzt man ihn in unmittelbare Gemeinschaft mit der Atmosphäre, damit das Gas mit dem atmosphärischen Druck in Gleichgewicht komme.

Die Wägungen wurden angestellt mit einer vortreflichen, von Hrn. Deleuil angefertigten Waage, die Hrn. Paul Thénard gehört; sie giebt, wenn jede Schale mit einem Kilogramm belastet ist, mit Sicherheit einen Ausschlag von 0,5 Milligramm. Sie steht in einem großen Schrank, der nach dem Muster des der HH. Dumas und Boussingault construiert ist. Bei meinem Verfahren würde eine gewöhnliche Fortin'sche Waage eben so gute Dienste thun, sobald man nur die Ballone durch einige Pappscheiben gegen Luftströme schützte. Gegen Ende der Wägung kommt der Beobachter der Waage nicht mehr nahe, indem er die Schwingungen des Balkens von weitem mit einem Fernrohr beobachtet.

Die HH. Dumas und Boussingault haben (p. 274 ihrer Abhandlung) einen Umstand hervorgehoben, der bei Wägungen oft zu Fehlern Anlaß geben kann. Beim Abwischen des Ballons mit trockner Leinwand elektrisirt man ihn sehr merklich. Es überraschte mich, zu sehen, welch außerordentlich lange Zeit die Elektricität zu ihrer Zerstreuung erfordert; ein mit trockner Leinwand abgeriebener Ballon wog in den ersten Momenten 0,75 Gramm mehr als sein wahres Gewicht betrug; nach einer Stunde betrug das Uebergewicht noch 0,15 Gramm, und selbst nach fünf Stunden war er noch um ein Centigramm zu schwer. Der Einfluß dieser Elektricität ist vor allem bedeutend, wenn die Wände des Schanks mit Blei bekleidet sind, und der Ballon dem Boden nahe ist.

Die Elektricität verschwindet gänzlich, wenn man den Ballon mit feuchter Leinwand abreibt. Bei allen meinen Versuchen traf ich die Vorsicht, die Ballone mit einer schwach mit destillirtem Wasser angefeuchteten Ser-

viette abzuwischen, und ehe ich sie an die Waagschale hakte, versicherte ich mich durch ein Goldblatt-Elektroskop, dafs sie keine Spur von Elektricität zeigten.

Oft liefs ich die Ballone bis zum andern Morgen an der Waage hangen, um mich zu überzeugen, dafs ihr Gewicht strenge constant geblieben sey.

Der barometrische Druck, so wie die Spannkraft des nach dem Auspumpen im Ballon zurückgebliebenen Gases, wurden mittelst eines Apparats gemessen, den ich, zum Vereinfachen der Beschreibung, *barometrisches Manometer* nennen will. Dieser Apparat, der leicht und mit wenig Kosten von jedem Physiker construirt werden kann, gewährt eine Genauigkeit, weit höher als die, welche man mit Barometern von gröfseren Dimensionen erhält. Er besteht aus zwei Röhren *A* und *B*, angeheftet an ein Brett, das selbst wiederum an einer lothrechten Wand unverrückbar befestigt ist.

Das Rohr *A* ist ein Barometer von 20 Millm. innerem Durchmesser. Man kocht das Quecksilber mit gröfster Sorgfalt in der Röhre aus, und kehrt dann die Röhre in einem mit trockenem Quecksilber gefüllten Gefäfse um. Diefs Gefäfs ist ein rechteckiger Kasten von Gufseisen mit zwei Zellen; die kleinere dieser Zellen dient dem Barometer als Gefäfs. In die zweite Zelle taucht die Röhre *B*, welche mit der Röhre *A* von gleichem Durchmesser ist, und mittelst einer Bleiröhre verbunden werden kann mit den Apparaten, in welchen man schwächere Spannkräfte, als die der Atmosphäre, messen soll. Ein Hahn an dieser Zelle erlaubt das Niveau des Quecksilbers nach Belieben zu senken.

Wenn man den Druck der Atmosphäre mittelst dieses Apparats bestimmen will, so giefst man so viel Quecksilber in den Kasten, dafs es über die Scheidewand hinweggeht; dann läfst man eine Schraube mit zwei geschwärzten Spitzen herab, bis die untere Spitze den Quecksilberspiegel berührt. Mit dem Kathetometer mifst

man den Höhenunterschied zwischen dem Quecksilber-
spiegel im Barometer und der oberen Spitze der Schraube,
und addirt zu dieser Messung die Höhe der Schraube zwi-
schen ihren beiden Spitzen.

Nachdem man den Ballon voll Gas gewägt hat, eva-
cuirt man ihn. Zu dem Ende umgiebt man den Ballon
auf's Neue mit Eis, und verbindet ihn durch eine drei-
armige Röhre einerseits mit der Luftpumpe, und anderer-
seits mit der Röhre *B* des barometrischen Manometers.
Man evacuirt, und trennt dann die Luftpumpe ab. Nach
einiger Zeit mißt man mit dem Kathetometer den Niveau-
unterschied der beiden Quecksilbersäulen in den Röhren
A und *B*. Dieser Höhenunterschied ist das Maafs der
Spannkraft des Gases.

Die Scheidewand, welche das Gefäfs in zwei Zellen
theilt, ist nothwendig zur Instandhaltung des Barometers;
ich habe nämlich gefunden, dafs, wenn die Barometer-
säule öftere und zwar grofse Schwingungen machen läfst,
bald sehr kleine Luftmengen in das Vacuum eindringen,
und somit das Instrument nach einiger Zeit merklich ver-
schlechtern. Vermöge der Scheidewand kann man die
beiden Zellen trennen im Moment, wo man auspumpt,
und in dem, wo man die Luft wieder eintreten läfst.

Der leere Ballon wird unter den angezeigten Vor-
sichtsmafsregeln gewägt. Der Unterschied $P - p$ der
durch beide Wägungen gefundenen Gewichte ist das Ge-
wicht des Gases, welches den Ballon bei 0° füllt, un-
ter einem Druck gleich dem im Moment der Schließung
des Hahns beobachteten Barometerdruck *H*, weniger die
Spannkraft *h* des Gases, welches nach Auspumpung des
Ballons in demselben zurückgeblieben ist. Das Gewicht
des Gases bei 0° und unter dem Druck von $0^m,76$ ist
also:

$$(P - p) \frac{760}{H - h}.$$

Um eine abermalige Wägung desselben Gases vor-

zunehmen, setzt man den Ballon, ausgepumpt und von schmelzendem Eise umgeben, in Gemeinschaft mit dem Apparat der Entwicklung des Gases, und wiederholt die ganze Reihe der schon angeführten Operationen. Das Gas wird sonach bei jeder Operation reiner. Ich habe gefunden, daß es erst nach der vierten Füllung streng dasselbe Gewicht zeigt; gewöhnlich ling ich die Wägungen nach der dritten Füllung an.

Es ist zweckmäfsig, sich zu überzeugen, ob das Gas, mit dem man arbeitet, unter Drucken schwächer als der der Atmosphäre dem Mariotte'schen Gesetze folge; diefs ist besonders nöthig, wenn man sich der Dichtigkeit des Gases zur Bestimmung der Atomgewichte bedienen will. Denn das Gesetz von den Volumen der Gase und die einfachen Verhältnisse zwischen den Dichtigkeiten und Atomgewichten derselben finden in ganzer Strenge nur an der *Gränze* statt, d. h. beim Zustande äußerster Verdünnung; man muß sich also überzeugen, ob die Anomalie in diesen Gesetzen nicht schon gegen den atmosphärischen Druck hin merklich zu werden anfangt.

Man bewerkstelligt diese Prüfung folgendermaßen. Nachdem der Ballon gefüllt mit Gas von 0° und unter 0^m,76 gewogen worden, stellt man ihn in Eis, und verbindet ihn mit der Luftpumpe und der Röhre *B* des barometrischen Manometers, evacuiert ihn theilweis, und trennt die Luftpumpe ab. Nach Verlauf einer Stunde mißt man den Niveauunterschied beider Säulen, welcher die Spannkraft des im Apparate zurückgebliebenen Gases giebt. Dann schließt man den Hahn und wägt den Ballon.

Man bestimmt sonach successive und mit großer Genauigkeit das Gewicht des Gases, welches den Ballon unter immer schwächeren Drucken und immer bei der Temperatur 0° füllt; man kann sich also versichern, ob die durch diese Wägungen erhaltenen Zahlen dem Mariotte'schen Gesetze genügen. Diefs Verfahren ist

viel genauer als das auf die Messung der Volume begründete, indem man dabei das Gas strenge in einer und derselben Temperatur zu halten vermag.

Man wird weiterhin für die Luft und das Kohlen-säuregas Beispiele dieser Prüfung finden.

Endlich kann man mittelst der oben angegebenen Vorrichtung des Ballons das Gewicht des Gases bestimmen, welches den Ballon bei 100° C. unter dem Druck der Atmosphäre füllt, und somit die Dichtigkeit eines Gases in Bezug auf Luft bei 100° C. bestimmen. Diese neue Dichtigkeit muß genau dieselbe seyn, wie die aus der Wägung bei 0° C. abgeleitete, falls die Dichtigkeit des Gases zur Berechnung des Atomgewichtes dienen soll; denn dazu ist nothwendig, daß das Gas dieselbe Ausdehnung besitze, wie die Luft. Jedenfalls wird man aus dem Gasgewicht, welches den Ballon bei 100° füllt, bezogen auf das, welches ihn bei 0° füllte, den Ausdehnungscoefficienten des Gases berechnen können.

Sey P das Gewicht des Gases, welches den Ballon bei 0° und $0^{\circ},76$ füllt, und p der Gewichtsverlust, den dieser Ballon durch Versetzung in die Temperatur T und unter dem Druck H'_0 erleidet. Dann wird das Gewicht des Gases, welches den Ballon bei 0° und unter dem Druck H'_0 füllen würde, gleich seyn:

$$P \frac{H'_0}{760},$$

und folglich ist das Gewicht des Gases, welches den Ballon bei der Temperatur T und unter dem Druck H'_0 füllt:

$$\left(P \frac{H'_0}{760} - p \right),$$

Das Gewicht des Gases, welches unter gleichen Umständen der Temperatur und des Drucks den Ballon füllen würde, wenn er gleiche Geräumigkeit besäße wie bei 0° , wird seyn:

$$\left(P \frac{H'_0}{760} - p \right) \left(\frac{1}{1 + k T} \right),$$

und unter dem Druck von 760 Millm.:

$$\left(P_0 \frac{H'_0}{760} - p\right) \left(\frac{1}{1 + kT}\right) \frac{760}{H'_0}$$

Das Verhältniß der Dichtigkeiten desselben Gases bei den Temperaturen 0 und T ist:

$$\frac{\left(P_0 \frac{H'_0}{760} - p\right)}{P_0} \frac{1}{1 + kT} \cdot \frac{760}{H'_0};$$

allein dies Verhältniß ist auch gleich

$$\frac{1}{1 + \alpha' T},$$

wo α' der Ausdehnungscoefficient des Gases ist; man hat also:

$$\frac{1}{1 + \alpha' T} = \frac{\left(P_0 \frac{H'_0}{760} - p\right)}{P_0} \frac{1}{1 + kT} \cdot \frac{760}{H'_0},$$

woraus sich α' ergibt.

Um den Ballon in die Temperatur des siedenden Wassers zu versetzen, wird er mitten in einem großen Gefäß von verzinktem Eisenblech von 0^m,80 Höhe und 0^m,45 Durchmesser aufgehängt, so daß der Hahn sich über dem Deckel befindet. Bei anderen Versuchen befand sich der Hahn auch in dem Dampf, und man handhabte ihn mittelst eines Schlüssels, der durch eine in der Wand des Gefäßes befindliche Dille ging. Der Kessel enthielt eine Wasserschicht von 2 Decimeter Höhe.

Endlich kann man sich überzeugen, ob das Gas, bis 100° C. erhitzt, dem Mariotte'schen Gesetze folge. Dazu bedarf es nur, die Versuche, welche vorhin mit dem von schmelzendem Eise umhüllten Ballon angestellt sind, zu wiederholen, wenn derselbe in den Dampf von siedendem Wasser getaucht ist.

Kurz, das so eben beschriebene Verfahren erlaubt, die Dichtigkeiten der Gase mit größerer Genauigkeit und weit geringerer Mühe zu bestimmen als auf den bisher eingeschlagenen Wegen. Es giebt diese Dichtigkeiten genau bei den Temperaturen 0° und 100°, d. h. bei den beiden Festpunkten des Thermometers, giebt also unmittel-

bar den Ausdehnungscoëfficienten des Gases. Es erlaubt also, mit einer grossen Genauigkeit zu erkennen, ob das Gas bei der Temperatur 0° oder 100° dem Mariotte'schen Gesetze folge.

Ich will nun die Resultate der nach dieser Methode angestellten Versuche geben, und zwar *ohne ein einziges auszulassen*, damit man beurtheilen könne, welcher Grad von Genauigkeit sich auf diese Weise erreichen läßt.

Versuche mit atmosphärischer Luft.

Bestimmung des Gewichtes trockner Luft, die den Ballon bei 0° und $0^{\text{m}},76$ füllt.

Die Luft wurde draussen in einem grossen Hofe aufgesogen; sie ging durch ein erstes U-Rohr voll Glasstücke, benässt mit einer Lösung von Aetzkali, dann durch ein zweites Rohr, gefüllt mit Stücken von Aetzkali, und endlich durch ein drittes Rohr voll Bimstein, getränkt mit concentrirter Schwefelsäure. Nachdem der Ballon durch Aufsaugung mit Luft gefüllt war, brachte man einen Ueberschufs von ihr hinein, mittelst eines Blasebalgs, dessen Düse man draussen an das Schöpfrohr setzte; um darauf das Druckgleichgewicht mit der Atmosphäre herzustellen, nahm man eine mit Quecksilber gefüllte Eprouvette fort, in welche eine lange, unmittelbar mit dem Ballon verbundene Röhre tauchte. Diese letzte Vorsicht ist unumgänglich, denn wegen des Widerstandes, welchen die Luft beim Durchstreichen der kleinen Zwischenräume in den U-förmigen Röhren antrifft, befindet sie sich oft unter einem geringeren Druck als der der Atmosphäre.

1. Ballon, luftvoll im Eise. Barometerstand beim

Schliessen des Hahns, reducirt auf Null . . . $H_0 = 761^{\text{mm}},19$

Gewicht hinzugefügt dem Ballon $p = 1^{\text{mm}},487$

Ballon, leer im Eise. Spannkraft der beim

Schliessen des Hahns im Ballon gebliebenen

Luft $h_0 = 8^{\text{mm}},43$

Gewicht hinzugefügt dem Ballon	$P=145^m,141$
Gewicht der ausgepumpten Luft	12 ,654
deren Druck	$752^{mm},76$
Daraus das Gewicht der Luft, die bei 0° und $0^m,76$ den Ballon füllt	$=125^m,7744$

II. Ballon voll	$H_0=754^{mm},66$
	$p=15^m,583$
Ballon leer	$h_0=7^{mm},00$
	$P=145^m,1555$
$P-p=125^m,5727$ unter dem Druck H_0-h_0 $=747^{mm},66$.	

Daraus das Gewicht der Luft bei 0° und $0^m,76$	$=12 ,7800$
--	-------------

III. Ballon voll	$H_0=758^{mm},61$
	$p=15^m,516$
Ballon leer	$h_0=4^{mm},62$
	$P=145^m,196$
Gewicht der Luft bei 0° und $0^m,76$	$=12 ,7809$

IV. Ballon voll	$H_0=746^{mm},10$
	$p=15^m,718$
Ballon leer	$h_0=2^{mm},93$
	$P=145^m,2115$
Gewicht der Luft bei 0° und $0^m,76$	$=12 ,7764$

V. Ballon voll	$H_0=747^{mm},23$
	$p=15^m,7005$
Ballon leer	$h_0=1^{mm},97$
	$P=145^m,232$
Gewicht der Luft bei 0° und $0^m,76$	$=12 ,7795$

VI. Ballon voll	$H_0=747^{mm},21$
	$p=15^m,699$
Ballon leer	$h_0=7^{mm},56$
	$P=145^m,1345$
Gewicht der Luft bei 0° und $0^m,76$	$=12 ,7775$

VII. Ballon voll	$H_0=753^{mm},76$
	$p=15^m,4375$
Ballon leer	$h_0=5^{mm},97$
	$P=145^m,013$
Gewicht der Luft bei 0° und $0^m,76$	$=12 ,7808$

VIII. Ballon voll	$H_0 = 774^{\text{mm}},46$
	$p = 18^{\text{mm}},0663$
Ballon leer	$h_0 = 5^{\text{mm}},58$
	$P = 138^{\text{mm}},9915$
Gewicht der Luft bei 0° und $0^{\text{m}},76$	$= 12 ,7759$
XI. Ballon voll	$H_0 = 774^{\text{mm}},41$
	$p = 18^{\text{mm}},064$
Ballon leer	$h_0 = 5^{\text{mm}},58$
	$P = 138^{\text{mm}},9915$
Gewicht der Luft bei 0° und $0^{\text{m}},76$	$= 12 ,7774$

Man hat also für das Gewicht der Luft, welches bei der Temperatur 0° und unter dem Druck von 760 Millm. den Ballon füllte:

I.	12,7744 Grm.
II.	12,7800 -
III.	12,7809 -
IV.	12,7764 -
V.	12,7795 -
VI.	12,7775 -
VII.	12,7808 -
VIII.	12,7759 -
IX.	12,7790 -

Mittel 12,7781 Grm.

Der größte Unterschied zwischen diesen Gewichten steigt auf 0,0065 Grm., etwa $\frac{1}{15000}$. Wahrscheinlich rührt er mehr von Veränderungen im Zusammensatz der Luft, als von Fehlern der Beobachtung her.

Man ist übereingekommen, die Dichtigkeiten der Gase auf die der atmosphärischen Luft zu beziehen. Dieß ist verdräuflich; denn es setzt voraus, daß der Zusammensatz der Luft durchaus unveränderlich sey. Es ist zu wünschen, daß man künftig bei Bestimmung der Dichtigkeit der Gase eins der einfachen, leicht im Zustande der Reinheit darstellbaren Gase als Vergleichungspunkt wähle, z. B. Sauerstoffgas. Diese Wahl würde um so zweckmäßiger seyn, als man den Sauerstoff schon bei

Berechnung der chemischen Aequivalente als Ausgangspunkt erwählt hat.

Bestätigung des Mariotte'schen Gesetzes für die atmosphärische Luft.

Beim Versuch IV wägte man den Ballon, nachdem man ihn, in Eis getaucht, theilweis ausgepumpt hatte. Man fand dabei:

Spannkraft der im Ballon gebliebenen Luft. . . . $F_0 = 306^{\text{mm}},03$
Gewicht hinzugefügt dem Ballon $P' = 95^{\text{mm}},122.$

Daraus und aus den Angaben des Versuches IV ergibt sich:

Gewicht der Luft, den Ballon füllend bei 0° und unter dem Druck $303^{\text{mm}},10$ $58^{\text{mm}},0895$
Angenommen nach Versuch IV, daß die Luft unter $0^{\text{mm}},76$ wiege $125^{\text{mm}},7764$, giebt die Rechnung, gestützt auf das Mariotte'sche Gesetz. $5,0954$
Unterschied $05^{\text{mm}},0059.$

Im Versuch V wurde gefunden:

Gewicht der Luft bei 0° und $0^{\text{mm}},76$ $= 125^{\text{mm}},7795$
Ballon im Eise. $F_0 = 314^{\text{mm}},32$
 $P' = 85^{\text{mm}},981.$

Hieraus und aus den Daten des Versuches V ergibt sich:

Gewicht der Luft bei 0° und $312^{\text{mm}},35$ $58^{\text{mm}},251$
Das Mariotte'sche Gesetz giebt $5,2522$
Unterschied $05^{\text{mm}},0012.$

Beim Versuch IX hatte man:

Gewicht der Luft bei 0° und $0^{\text{mm}},76$ $= 125^{\text{mm}},7790$
Ferner. $F_0 = 363^{\text{mm}},80$
 $P' = 75^{\text{mm}},969.$

Diese Daten, combinirt mit denen des Versuches IX, geben:

Gewicht der Luft bei 0° und $358^{\text{mm}},22$ $68^{\text{mm}},0225$
Das Mariotte'sche Gesetz liefert. $6,0233$
Unterschied $05^{\text{mm}},0008.$

Die Rechnung gab also beständig ein etwas größeres Gewicht als der Versuch, allein die Unterschiede sind zu gering, als daß man sie nicht den Beobachtungsfehlern zuschreiben könnte.

Bestimmung des Ausdehnungscoëfficienten der Luft.

Beim Versuche I hatten wir für das Gewicht der Luft, welches den Ballon bei 0° und 0^m,76 füllte: 12^{gm},7744.

Versetzt in den Dampf von siedendem Wasser unter dem Druck:

$$H'_0 = 760^{\text{mm}},47,$$

drang aus dem Ballon ein Gewicht Luft:

$$p = 35^{\text{mm}},421.$$

Daraus ergibt sich:

$$T = 100^{\circ},02 ; \left(P_0 \frac{H'_0}{760} - p \right) = 95^{\text{mm}},3734,$$

und:

$$P_0 H'_0 (1 + k T) = 125^{\text{gm}},774 \cdot 760,47 (1 + 0,0000233 \cdot 100^{\circ},02),$$

woraus:

$$\alpha = 0,003667.$$

Beim Versuche II hatte man:

Gewicht der Luft im Ballon bei 0° und 0^m,76 = 12^{gm},7800.

Bei der Temperatur 99° ,80 und dem Druck 754^{mm},66 trat aus ein Luftgewicht:

$$p = 35^{\text{mm}},366;$$

darnach ist:

$$\alpha = 0,003663.$$

Dichtigkeit des Stickgases.

Das Stickgas ward bereitet, indem man atmosphärische Luft ein glühendes Kupferrohr, das mit metallischem Kupfer gefüllt war, durchstreichen ließ; am Ende dieses Rohrs ging das Gas durch ein U-förmiges Rohr voll Glasstücke, benäßt mit einer concentrirten Lösung von Aetzkali, dann durch ein zweites Rohr mit schwefelsaurem Bimstein.

I. Ballon voll	$H_0 = 758^{\text{mm}},55$
	$p = 1^{\text{gm}},8725$
Ballon leer	$h_0 = 2^{\text{mm}},18$
	$P = 14^{\text{gm}},227$
Gewicht d. Gases bei 0° u. $0^{\text{m}},76$	$= 12 ,4137.$
II. Ballon voll	$H_0 = 758^{\text{mm}},55$
	$p = 1^{\text{gm}},8725$
Ballon leer	$h_0 = 7^{\text{mm}},81$
	$P = 14^{\text{gm}},135$
Gewicht d. Gases bei 0° u. $0^{\text{m}},76$	$= 12 ,4137.$
III. Ballon voll	$H_0 = 762^{\text{mm}},82$
	$p = 1^{\text{gm}},802$
Ballon leer	$h_0 = 7^{\text{mm}},81$
	$P = 14^{\text{gm}},135$
Gewicht d. Gases bei 0° u. $0^{\text{m}},76$	$= 12 ,4145.$
IV. Ballon voll	$H_0 = 762^{\text{mm}},84$
	$p = 1^{\text{gm}},802$
Ballon leer	$h_0 = 5^{\text{mm}},06$
	$P = 14^{\text{gm}},1805$
Gewicht d. Gases bei 0° u. $0^{\text{m}},76$	$= 12 ,4147.$
V. Ballon voll	$H_0 = 762^{\text{mm}},42$
	$p = 1^{\text{gm}},815$
Ballon leer	$h_0 = 5^{\text{mm}},06$
	$P = 14^{\text{gm}},1805$
Gewicht d. Gases bei 0° u. $0^{\text{m}},76$	$= 12 ,4086.$
VI. Ballon voll	$H_0 = 762^{\text{mm}},42$
	$p = 1^{\text{gm}},815$
Ballon leer	$h_0 = 6^{\text{mm}},00$
	$P = 14^{\text{gm}},165$
Gewicht d. Gases bei 0° u. $0^{\text{m}},76$	$= 12 ,4085.$

Mithin haben wir für das Gewicht des Stickgases, welches den Ballon bei 0° und unter dem Druck von 760 Millimetern füllte, gefunden:

	Grm.	Dichtigkeiten.
I. . .	12,4137	0,97148
II. . .	12,4137	0,97148
III. . .	15,4145	0,97154
IV. . .	12,4147	0,97155
V. . .	12,4086	0,97108
VI. . .	12,4085	0,97108
	Mittel	0,97137.

Der größte Unterschied beläuft sich auf $\frac{1}{1000}$. Die HH. Dumas und Boussingault hatten in drei Versuchen für die Dichtigkeit des Stickgases gefunden:

0,970 ; 0,972 ; 0,974 ; Mittel 0,972.

Dichtigkeit des Wasserstoffs.

Das Wasserstoffgas wurde mittelst Zink und Chlorwasserstoffsäure bereitet. Letztere ward kochend aufgegossen, um zu verhüten, daß Luft in den Apparat trete. Das Gas ging folgwiese durch vier Röhren; die erste, von U-Form, enthielt abwechselnde Lagen von Glasstücken und stark befeuchteten Stücken von Aetzkali; die zweite war gefüllt mit Glasstücken, welche mit einer heifs gesättigten Lösung von Quecksilberchlorid übergossen worden, folglich mit Krystallen und der Lösung dieses Salzes bekleidet waren; die dritte enthielt Aetzkalistücke, und die vierte Bimstein, benäfst mit concentrirter Schwefelsäure. Der ganze Apparat war so eingerichtet, daß man ihn evacuiren konnte, was die Reinigung des Gases sehr erleichtert.

I. Ballon voll	$H_0 = 756^{\text{mm}}, 16$
	$p = 13^{\text{cm}}, 301$
Ballon leer	$h_0 = 3^{\text{mm}}, 40$
	$p = 14^{\text{cm}}, 1785.$
Gewicht d. Gases bei 0° u. $0^{\text{m}}, 76$	$= 0,88591.$
II. Ballon voll	$H_0 = 748^{\text{mm}}, 79$
	$p = 13^{\text{cm}}, 308$

Ballon leer	$h_0 = 1^{\text{mm}},38$
	$P = 145^{\text{mm}},178$
Gewicht d. Gases bei 0° u. $0^{\text{m}},76$	$= 0^{\text{gm}},88465.$
III. Ballon voll	$H_0 = 755^{\text{mm}},50$
	$p = 135^{\text{mm}},301$
Ballon leer	$h_0 = 1^{\text{mm}},38$
	$P = 145^{\text{mm}},179$
Gewicht d. Gases bei 0° u. $0^{\text{m}},76$	$= 0^{\text{gm}},88484.$

Mithin hat man für das Wasserstoffgas bei 0° und $0^{\text{m}},76$:

I. Grm.:	0,88591	Dichtigkeit:	0,06932
II. -	0,88465	-	0,06923
III. -	0,88484	-	0,06924
<hr/>			
Mittel: 0,06926.			

Hergeleitet aus der Zusammensetzung des Wassers, wie sie sich aus den Analysen des Hrn. Dumas ergibt, unter der Annahme der Dichte des Sauerstoffgases $= 1,10563$, wie wir sie weiterhin finden werden, ist die Dichtigkeit des Wasserstoffgases $= 0,06910$, was sehr wenig von dem Ergebniss unserer Wägungen abweicht.

Die HH. Dumas und Boussingault führen an, dass sie bei mehren Bestimmungen die Dichtigkeit des Wasserstoffgases zwischen den Zahlen 0,0691 und 0,0695 gefunden haben ¹⁾.

Dichtigkeit des Sauerstoffgases.

Das Sauerstoffgas wurde durch Erhitzung von chlor-saurem Kali bereitet. Es durchstrich folgeweise drei Röhren; erstlich eine U-förmige voll Glasstücke, benäht mit einer Lösung von Aetzkali, zweitens eine mit Aetzkali in Stücken, und drittens eine mit Bimstein und Schwefelsäure.

1) *Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. VIII, p. 201.*

I. Ballon voll	$H_0 = 746^{\text{mm}}, 21$
	$p = 0^{\text{mm}}, 317$
Ballon leer	$h_0 = 3^{\text{mm}}, 69$
	$P = 14^{\text{mm}}, 115$
Gewicht d. Gases bei 0° u. $0^{\text{m}}, 76$	$= 14, 1230$
II. Ballon voll	$H_0 = 748^{\text{mm}}, 49$
	$p = 0^{\text{mm}}, 270$
Ballon leer	$h_0 = 3^{\text{mm}}, 69$
	$P = 14^{\text{mm}}, 115$
Gewicht d. Gases bei 0° u. $0^{\text{m}}, 76$	$= 14, 1276$
III. Ballon voll	$H_0 = 750^{\text{mm}}, 22$
	$p = 0^{\text{mm}}, 172$
Ballon leer	$h_0 = 4^{\text{mm}}, 59$
	$P = 14^{\text{mm}}, 033$
Gewicht d. Gases bei 0° u. $0^{\text{m}}, 76$	$= 14, 1281$
IV. Ballon voll	$H_0 = 748^{\text{mm}}, 49$
	$p = 0^{\text{mm}}, 204$
Ballon leer	$h_0 = 4^{\text{mm}}, 59$
	$P = 14^{\text{mm}}, 033$
Gewicht d. Gases bei 0° u. $0^{\text{m}}, 76$	$= 14, 1283$

Man hat also für das Sauerstoffgas bei 0° und $0^{\text{m}}, 76$:

I. Grm.:	14,1230	Dichtigkeit:	1,10525
II. -	14,1276	-	1,10561
III. -	14,1281	-	1,10564
IV. -	14,1283	-	1,10565

Mittel der drei letzten: 1,10563.

Die erste Bestimmung habe ich bei Ziehung des Mittels verworfen; sie ergab sich aus einer Wägung, die nach dritter Füllung gemacht wurde, und da der Ballon zuvor Wasserstoffgas enthalten hatte, so war von diesem eine sehr geringe Menge zurückgeblieben, was das Gewicht zu klein machen mußte. Ich hielt es indess für schicklich, auch diese Wägung anzuführen, um keine der gemachten auszulassen.

Die HH. Dumas und Boussingault geben an (p. 275 ihrer Abhandl.), daß sie durch zahlreiche Bestim-

stimmungen die Dichte des Sauerstoffgases zwischen 1,105 und 1,107 gefunden. Die drei Bestimmungen, welche sie für die genauesten halten, sind:

1,1055 ; 1,1058 ; 1,1057 ; Mittel 1,1057.

Versuche mit Kohlensäuregas.

Das Kohlensäuregas wurde aus weißem Marmor durch Chlorwasserstoffsäure abgeschieden; das Gas ging durch eine Waschflasche, enthaltend eine Lösung von kohlen-saurem Natron, dann durch eine lange Röhre voll Bimstein mit Schwefelsäure. Die Chlorwasserstoffsäure war siedend heifs.

I. Ballon voll	$H_0 = 763^{\text{mm}},04$
	$p = 0^{\text{mm}},6335$
Ballon leer	$h_0 = 1^{\text{mm}},57$
	$P = 20^{\text{mm}},211$
Gewicht d. Gases bei 0° u. $0^{\text{m}},76$	$= 19,5397.$

II. Ballon voll	$H_0 = 759^{\text{mm}},13$
	$p = 0^{\text{mm}},736$
Ballon leer	$h_0 = 1^{\text{mm}},57$
	$P = 20^{\text{mm}},211$
Gewicht d. Gases bei 0° u. $0^{\text{m}},76$	$= 19,5377.$

III. Ballon voll	$H_0 = 756^{\text{mm}},72$
	$p = 0^{\text{mm}},796$
Ballon leer	$h_0 = 1^{\text{mm}},57$
	$P = 20^{\text{mm}},211$
Gewicht d. Gases bei 0° u. $0^{\text{m}},76$	$= 19,5397.$

IV. Ballon voll	$H_0 = 756^{\text{mm}},34$
	$p = 0^{\text{mm}},808$
Ballon leer	$h_0 = 1^{\text{mm}},71$
	$P = 20^{\text{mm}},2085$
Gewicht d. Gases bei 0° u. $0^{\text{m}},76$	$= 19,5385.$

V. Ballon voll	$H_0 = 753^{\text{mm}},39$
	$p = 0^{\text{mm}},8835$
Ballon leer	$h_0 = 1^{\text{mm}},71$
	$P = 20^{\text{mm}},2085$
Gewicht d. Gases bei 0° u. $0^{\text{m}},76$	$= 19,5396.$

Man hat also für das Kohlensäuregas bei 0° und 0^m,76:

I.	Grm.: 19,5397	Dichtigkeit: 1,52915
II.	- 19,5377	- 1,52900
III.	- 19,5397	- 1,52915
IV.	- 19,5385	- 1,52906
V.	- 19,5396	- 1,52915
		Mittel; 1,52910.

Ausdehnungscoefficient des Kohlensäuregases.

Im Versuche II fanden wir das Gewicht des Kohlensäuregases, welches den Ballon bei 0° und unter 0^m,76 füllt, = 19,5377 Grm.

Der Ballon wurde im Dampf von siedendem Wasser erhitzt, bei 99°,94 Temperatur und unter 758^{mm},53 Druck. Es entwich ein Gasgewicht:

$$P' = 6^{\text{gm}},0045.$$

Diese Angaben, verknüpft mit den übrigen des Versuches II, geben den Ausdehnungscoefficienten α' des Kohlensäuregases:

$$\alpha' = 0,003719.$$

Im Versuch IV füllte den Ballon bei 0° und 0^m,76 ein Gasgewicht = 19,5385 Grm. Der Ballon, erhitzt bis 99°,85 unter 755^{mm},68 Druck, entliefs an Gas = 6^{gm},055. Verknüpft mit den Elementen des Versuchs IV, ergiebt sich hieraus:

$$\alpha' = 0,003719.$$

In einer früheren Abhandlung¹⁾ habe ich mittelst der Methode, bei der das Gas gleiche Spannkraft bei 0° und 100° behielt, gefunden:

$$\alpha' = 0,0037099.$$

Versuche, zu ermitteln, ob das Kohlensäuregas bei 0°, unter schwächerem Druck als der der Atmosphäre, dem Mariotte'schen Gesetze folge.

Im Versuch V war bei 0° und 0^m,76 das Gewicht des Kohlensäuregases im Ballon 19,5396 Grm. Theilweise ausgepumpt hatte man:

1) *Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. V, p. 68.* (Ann. Bd. 57, S. 139.)

Ballon im Eise $F_0 = 375^{\text{mm}},84$
 $P' = 105^{\text{mm}},624$

Das Gas bei 0° und $374^{\text{mm}},13$ wog $= 9,5845$

Nach dem Mariotte'schen Gesetze müßte es wiegen $= 9,6628$.

Nach weiterem Auspumpen des Ballons hatte man:

Ballon im Eise $F_0 = 225^{\text{mm}},88$

$P' = 145^{\text{mm}},474$

Das Gas bei 0° und $224^{\text{mm}},17$ Druck wog . . . $= 5,7345$

Nach dem Mariotte'schen Gesetze müßte es wiegen $= 5,7634$.

Man sieht hieraus, daß das Kohlensäuregas selbst unter Drucken, die schwächer als der der Atmosphäre sind, sehr beträchtlich vom Mariotte'schen Gesetze abweicht.

Versuche, zu ermitteln, ob das Kohlensäuregas bei 100° , unter schwächeren Drucken als der der Atmosphäre, dem Mariotte'schen Gesetze folge.

Ballon voll Gas in siedendem Wasser $H_0 = 760^{\text{mm}},34$ $T = 100^\circ,01$

$P' = 55^{\text{mm}},901$

Ballon in siedend. Wasser mit Spannkraft $F_0 = 343^{\text{mm}},08$

$P = 135^{\text{mm}},7405$

$H_0 = 757^{\text{mm}},98$ $T' = 99^\circ,92$

Ballon leer in siedendem Wasser

$H = 756,51$

$h = 4,69$

$P = 205^{\text{mm}},091$.

Hieraus ergibt sich: Gewicht des Kohlensäuregases im Ballon bei $100^\circ,01$ und unter $755^{\text{mm}},65$ Druck $= 145^{\text{mm}},190$, oder bei 100° und $0^{\text{mm}},76$, $= 145^{\text{mm}},2717$.

Das Gewicht des Gases, welches den Ballon bei $99^\circ,92$ und unter $338^{\text{mm}},39$ füllte, war $= 65^{\text{mm}},3505$; bei $100^\circ,01$ würde dasselbe Gasvolum wiegen $= 65^{\text{mm}},3549$.

Angenommen, $145^{\text{mm}},2717$ unter dem Druck von $0^{\text{mm}},76$, ist das nach dem Mariotte'schen Gesetze berechnete Gewicht $= 65^{\text{mm}},3545$, was fast identisch ist mit dem durch den Versuch gefundenen.

Hieraus schliesse ich, daß das Kohlensäuregas unter schwächeren Drucken als der der Atmosphäre, dem Mariotte'schen Gesetze folgt, sobald es bis 100° C. erhitzt ist.

Mittelst der vorstehenden Daten kann man die Dichtigkeiten berechnen, welche die Kohlensäure in Bezug auf die Luft besitzt, wenn beide Gase unter gleichen Umständen der Temperatur und des Drucks befindlich sind.

Die Dichtigkeit des Kohlensäuregases bei 0° ist

unter dem Druck: 760^{mm},00 . . 1,52910

374 ,13 . . 1,52366

224 ,17 . . 1,52145,

und bei 100°

unter dem Druck: 760^{mm},00 . . 1,52418

338 ,39 . . 1,52410,

Angenommen, das Atomgewicht des Kohlenstoffs sey 75,00, ist die Dichte des Kohlensäuregases = 1,52024.

Die Dichtigkeit, welche wir bei der Temperatur 0° und unter dem Druck von 760 Millm. gefunden haben, führt für den Kohlenstoff zu dem Atomgewicht = 76,60, das der Berzelius'schen Zahl 76,44 nahe kommt, welche die Chemiker lange Zeit angenommen haben. Man sieht aus diesem Beispiel, wie viel Umsicht es bedarf, um ein Atomgewicht aus der Dichtigkeit des Gases abzuleiten.

VIII. *Untersuchung über die Dichtigkeit des Dampfes zusammengesetzter Körper;* *von Herrn August Cahours.*

(Compt. rend. T. XX, p. 51.)

Indem ich meine Untersuchung über die Dichtigkeiten flüchtiger Körper verfolgte ¹⁾, habe ich mich überzeugt, daß die Essigsäure es nicht allein ist, welche die von Hrn. Dumas nachgewiesene sonderbare Anomalie darbietet, eine Anomalie, die sich, nach den neuen Versuchen

1) S. Ann. Bd. 63, S. 593.

von Herrn Bineau, auch bei der Ameisen- und der Schwefelsäure findet ¹⁾).

Zwar erhält man in den meisten Fällen, wenn man bei 30 bis 40 Grad oberhalb des Siedpunkts der Substanzen arbeitet, Zahlen, die nahe mit den von der Theorie gegebenen zusammenfallen; so verhalten sich der Alkohol und seine Verwandten, die meisten zusammengesetzten Aetherarten und viele der Kohlenwasserstoffe; allein es giebt Verbindungen, die sich anders verhalten, und diese haben besonders meine Aufmerksamkeit auf sich gezogen.

Ich habe die Ehre, der Academie hier einige der im Verfolg meines Studiums erhaltenen Resultate vorzulegen, mir vorbehaltend, nächstens eine ausführlichere Abhandlung darüber zu liefern.

Ich habe mich überzeugt, daß die Dichtigkeit des Dampfes von Alkohol und seinen Verwandten (Holzgeist, Fuselöl), bei 30 bis 35° C. über ihren Siedpunkt genommen, nahe mit der theoretischen Dichte übereinstimmt. Selbst 10 bis 12° oberhalb dieses Punktes ist die Abweichung noch unbedeutend.

Der Aether liefert ähnliche Resultate. Bei 30 Grad über seinem Siedpunkt giebt er die Zahl 2,59, welche zwei Volumen Dampf entspricht; auch bei 200 Grad über dem Siedpunkt verhält er sich noch so, und folglich hat sich die Anordnung der Moleküle durch diese hohe Temperatur nicht geändert. Auch das Wasser verhält sich so.

Dagegen zeigen die aus dem Alkohol ableitbaren Säuren (Essig-, Butter-, Baldriansäure) bedeutende Abweichungen, wie man aus folgenden Tafeln ersehen mag.

1) Siehe den folgenden Aufsatz.

Dichtigkeiten des Essigsäuredampfes bei verschiedenen Temperaturen.

Temperatur.	Dichtigkeit.	Temperatur.	Dichtigkeit.
125° C.	3,20	219° C.	2,17
130	3,12	230	2,09
140	2,90	250	2,08
150	2,75	280	2,08
160	2,48	300	2,08
171	2,42	321	2,08
190	2,30	327	2,08
200	2,22	338	2,08

Dichtigkeiten des Buttersäuredampfes bei verschiedenen Temperaturen.

Temperatur.	Dichtigkeit.	Temperatur.	Dichtigkeit.
177° C.	3,68	261° C.	3,07
208	3,44	290	3,07
228	3,22	310	3,07
249	3,10	330	3,07

Die Baldriansäure giebt analoge Resultate, doch sind bei ihr die Abweichungen geringer als bei der Buttersäure.

Bei diesen Verbindungen, wie bei den Alkoholen, aus denen sie entspringen, ist das Molecul dividirbar durch 4; allein um zu übereinstimmenden Resultaten mit der Theorie zu gelangen, muß man, wie zu ersehen, bei sehr vom Siedpunkt entfernten Temperaturen arbeiten, was anzudeuten scheint, daß bei diesen Dämpfen die Cohäsion erst ziemlich weit oberhalb des Siedpunkts Null werde.

Es ist übrigens bemerkenswerth, daß Körper, die so manche auffallende Analogie zeigen, dieselbe auch in der Anordnung ihrer Molecule wiederholen.

Die meisten der zusammengesetzten Aetherarten, viele der ätherischen Oele und besonders die öligen Kohlenwasserstoffe liefern 30 bis 40 Grade über ihrem Siedpunkt Zahlen, die vollkommen mit der Theorie übereinstimmen. Ich hatte geglaubt, es wären bloß die Säuren, welche die Anomalien zeigten, allein ich habe mich überzeugt, daß die vollkommen neutralen Oele des Anises

und des Fenchels ähnliche Resultate, wie die obigen liefern.

So gab das Anisöl, dessen theoretische Dichte 5,18 ist, bei

Temperatur: 245° C.	Dichtigkeit: 5,98
- 260	- 5,73
- 270	- 5,64
- 325	- 5,22
- 338	- 5,19.

Bei dieser hohen Temperatur erleidet das Oel, obwohl es sich bräunt, keine Zersetzung, wovon ich mich durch Analyse des Rückstands überzeugt habe:

Aus den von mir beobachteten und den früher bekannten Thatsachen geht hervor, daß das Molecul der zusammengesetzten Körper immer durch 2 oder durch 4 dividirbar ist. Die Division durch 6 und durch 3 existirt nicht, wie dieß auch aus Hrn. Malaguti's Versuchen über das Formäthylal und den meinigen über die Säuren der Essigsäure-Gruppe hervorgeht.

Nur eine einzige Verbindung macht Ausnahme von der Regel, nämlich das Chlorsilicium, welches, wenn man die Zahl 92,6 für das Atomgewicht des Siliciums, und SiO für die Formel der Kieselerde annimmt, nur ein einziges Volum Dampf giebt. In derselben Hypothese würde der neulich von Hrn. Ebelmen entdeckte Kieselsäure-Aether ¹⁾ gleichfalls nur ein Volum Dampf geben. Vermöge der Analogie, welche die Kieselsäure mit der Titan- und Zinnsäure darbietet, könnte man aber erstere vielleicht durch die Formel SiO_2 darstellen, und dann würden Chlorkiesel und Kieselsäure-Aether ein durch 2 dividirbares Molecul besitzen.

1) Ann. Bd. 63, S. 174.

**IX. Ueber die Dichtigkeit des Dampfs des Ameisen- und des Schwefelsäurehydrats;
von Hrn. A. Bineau.**

(*Compt. rend. T. XIX, p. 769.* — Eine in dieser Notiz zugleich enthaltene Bestimmung der Dichtigkeit des Essigsäuredampfs wurde schon in den *Ann. Bd. 63, S. 596* mitgetheilt.)

Ameisensäure.

Ameisensaures Blei, gereinigt durch wiederholtes Umkrystallisiren, Abwaschen mit Alkohol und sorgfältiges Trocknen, wurde in einer Tubulatretorte zersetzt durch einen Strom von trockenem Schwefelwasserstoffgas, dem ein Strom von Kohlensäure folgte. Die Destillation wurde dann in einem Bade von Chlorcalcium bewerkstelligt, unter Fortschüttung der ersten Portionen, die noch einen schwachen Geruch nach Schwefelwasserstoffgas besaßen. Das Product diente zu den folgenden Bestimmungen (von denen die No. I nach der Gay-Lussac'schen, die No. II nach der Dumas'schen Methode ausgeführt wurde.)

I. Ameisensäure im Kugelchen, das in den Gay-Lussac'schen Apparat gebracht wurde	0 ^m ,230	
Volum des Dampfs	146 C. C.	
Temperatur	111° C.	
Unterschied der Quecksilberspiegel	0 ^m ,135	
Barometerstand	0 ,743	
Dichtigkeit des Dampfs	2,125.	
II. Ameisensäure	0 ^m ,379	
Dampfvolum	225 C. O.	226 C. C.
Temperatur	115°	118°
Niveauxunterschied	0 ^m ,096	0 ^m ,096
Barometerstand	0 ,751	0 ,751
Dichte des Dampfs	2,12	2,14.

Berechnet nach dem Sättigungsvermögen würde das Gewicht der Ameisensäure 0^m,376 gewesen seyn.

Die der Formel $\frac{1}{3}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4)$ entsprechende Dichtigkeit wäre = 2,12. Dieß ist also dieselbe Verdichtungsweise wie bei der Essigsäure.

Schwefelsäure.

Die Bestimmung des specifischen Gewichts der gasförmigen concentrirten Schwefelsäure hat zwischen dieser Säure und den beiden vorhergehenden (der Essigsäure und der Ameisensäure) eine Aehnlichkeit nachgewiesen, welche ich wenig erwartete. Sie wurde ausgeführt mittelst Ballone mit ausgezogener Spitze, die in einem Metallbade erhitzt wurden.

Ballon offen (man brachte 17 ^m ,0 Säure hinein)	86 ^m ,907
Ballon verschlossen, voll Dampf	86 ,954
Temperatur der Waage	21°
Atmosphärischer Druck	0 ^m ,747
Luftückstand	9 C. C.
Gesamtes Volum	572 - -

Die Temperatur des Dampfs wurde angezeigt durch Röhren, die an einem Ende ausgezogen waren, sich neben dem Ballon befanden, zugleich mit diesem zugeschmolzen, und dann unter Quecksilber geöffnet wurden. Endlich wägte man sie: 1) mit dem Quecksilber, welches eindrang, während die darin gebliebene Luft sich unter gleichen Umständen befand wie die äußere atmosphärische, 2) voll Quecksilber, und 3) leer.

Volum der Röhren, ausgedrückt durch das Gewicht Quecksilber, welches sie füllte	87,45 C. C.	85,1 C. C.
Luftückstand bei 21° und 0 ^m ,747	41,6 - -	40,7 - -
Verhältniß (entsprechend 343° C.)	2,090	2,088
Dichtigkeit des Dampfs	2,28.	

Zweiter Versuch.

Ballon offen (man brachte 8 Grm. Säure hinein)	105 ^m ,525
Ballon verschlossen, voll Dampf	105 ,530
Temperatur	21° C.
Barometer	0 ^m ,749
Luftückstand	Spur.

Volum	544 C. C.
Verhältniß der Ausdehnung, nach dem Luftthermometer	2,167
Kalkwasser, neutralisirend $\frac{50}{544}$ der Säure des Ballons (nach zwei übereinstimmenden Versuchen) . . .	32,4 C. C.
Kalkwasser, neutralisirend 0,2255 Grm. verdünnter Salzsäure, entsprechend 0,0613 Grm. concentrirter Schwefelsäure	33,6 - -
Gewicht der Säuren, zufolge dieser Angaben . . .	0 ^{gr} 642
Dichtigkeit zufolge der bloßen Wägungen	2,18
Dichtigkeit zufolge des vom Kalkwasser angezeigten Gewichts der Säuren	215.

Der geringe Unterschied zwischen diesen beiden Zahlen zeigt, daß die Säure nur eine sehr geringe Wirkung auf das Glas ausübte.

Die Dichtigkeit, welche einem Drittel-Aequivalent entspricht, oder anders gesagt, in der Annahme berechnet ist, daß zwischen Säure und Wasser eine Verdichtung im Verhältniß 4 : 3 stattfinde, würde seyn = 2,16.

Man hat also drei Säuren-Monohydrate (außer den obigen zwei, das Essigsäurehydrat), in welchen das Gewicht des Dampfs, verglichen mit dem Aequivalent, ein ungewöhnliches Verhältniß zeigt, während bei der Benzoësäure und Kampholsäure das Aequivalent wie gewöhnlich 4 Volume Dampf vorstellt.

X. Untersuchung über die Verdampfungswärme; von Hrn. Person.

(Compt. rend. T. XVII, p. 495. Vom Verf. gemachter Auszug.)

Die Verdampfungswärme kannte man bisher nur für vier Substanzen: Wasser, Alkohol, Schwefeläther und Terpenthinöl. Diese Untersuchung bestimmt sie für zehn andere: Brom, Jod, Schwefel, Quecksilber, schweflige Säure, wasserfreie Schwefelsäure, Schwefelsäure mit 1 At.

Wasser, Schwefelkohlenstoff, Chlorwasserstoffäther und Holzgeist.

Für die schweflige Säure und den Chlorwasserstoffäther wurde die Mengungsmethode angewandt. Ein Glaskügelchen, versehen mit zwei gekrümmten und ausgezogenen Röhren, wurde zur Hälfte mit der Flüssigkeit gefüllt, dann vor der Lampe zugeschmolzen, und in ein bekanntes Gewicht Wasser getaucht, bis das Temperaturgleichgewicht hergestellt war. Nun öffnete man es, worauf die Verdampfung erfolgte, anfangs vermöge der Wärme, welche die Flüssigkeit über ihrem Siedpunkt hatte, und alsdann durch die Wärme, welche das Wasser lieferte. Bei Kenntniss der specifischen Wärme lässt sich dann die Verdampfungswärme bestimmen.

Für die übrigen acht Substanzen wurde ein neues Verfahren angewandt. Man weiß, dass flüchtige Flüssigkeiten, auf eine hinreichend heiße Fläche geschüttet, dieselbe nicht berühren, sondern von ihrem eigenen Dampf in der Luft getragen werden.

Eine Formel, die in einer früheren Abhandlung aufgestellt wurde ¹⁾, giebt dann die Dauer der Verdampfung, wenn man die Verdampfungswärme kennt, und so umgekehrt. Unter diesen Umständen wird die Wärme fast ausschließlich der Flüssigkeit durch die sie tragende Dampfschicht zugeführt; wenn diese Schicht sehr dünn ist, haben die Unterschiede in der Natur der Flüssigkeit keinen merklichen Einfluss, und deshalb gilt die Formel gleich gut für Wasser, Aether, Alkohol, Terpenthinöl und also auch andere Flüssigkeiten. Die Dampfschicht ist hinlänglich dünn, wenn die Temperatur der Fläche nicht über 100 bis 150° höher ist als der Siedpunkt der Flüssigkeit.

Das Verfahren kommt darauf zurück: Eine kleine Schale von Silber oder Platin wird an drei Drähten über einer gewöhnlichen Oellampe aufgehängt. Für schwere und wenig flüchtige Flüssigkeiten, wie Schwefelsäure, ist

1) S. Ann. Bd. 57, S. 292.

diese Wärme hinreichend, damit sie von ihrem Dampf getragen werden. Man tröpfelt ein bekanntes Gewicht der Flüssigkeit darauf; man notirt die Dauer der Verdampfung, und nimmt dann die Temperatur der Schale durch Eintauchung oder auf andere Weise. Zur Erlangung der Verdampfungswärme hat man dann die Formel:

$$k = 0,02687 \left(\frac{1+\delta}{D} \right)^{\frac{2}{3}} \tau (c+c') \cdot \frac{1}{p^{\frac{1}{2}}}$$

Darin ist k die Verdampfungswärme, D das specifische Gewicht der Flüssigkeit, δ die Ausdehnung derselben bis zum Siedpunkt, p das Gewicht in Grammen, τ die Dauer (der Verdampfung) in Secunden, $c = ma^6(a^2 - 1)$, t der Siedpunkt, $t + \theta$ die Temperatur der Schale, $a = 1,0077$, $m = 0,1$ für eine ebene Schale, $= 0,2$ für einen tiefen Tiegel, so lange man nicht 300 oder 400° C. überschreitet (für höhere Temperaturen siehe meine erste Abhandlung), $c' = 0,48 \theta^{1,92}$.

Gewisse Flüssigkeiten erfordern eine Abänderung am Verfahren. So die sehr flüchtigen Flüssigkeiten; da sie nur einer wenig erhöhten Temperatur bedürfen, so erhält man diese auf eine festere Weise, wenn man mit einem Tiegel arbeitet, und diesen in eine siedende Salzlösung taucht. Beim Quecksilber muß man einen Tiegel über einer Lampe mit doppeltem Luftzuge rothglühend machen; eine Temperatur von 100 bis 150° über dem Siedpunkt reicht nicht hin, daß eine so dichte Flüssigkeit wie diese von ihrem Dampf getragen werde.

Beim Schwefel würde die Dauer der Tropfen vermöge ihrer Verbrennung in der Luft fast auf nichts reducirt werden; es wurde daher eine Atmosphäre von Kohlensäure angewandt.

Man suchte natürlich, ob in den erhaltenen Resultaten ein Gesetz vorhanden sey, und ein solches giebt es sogleich ganz einleuchtend, nämlich dieß: *daß die Verdampfungswärmen der Atome genau in der Ordnung der Siedpunkte stehen.*

Bekanntlich existirt diese Relation nicht, wenn man gleiche Gewichte betrachtet. Es giebt dann keine Ordnung; die Substanzen, die bei den höchsten Temperaturen verdampfen, sind keineswegs die, welche die meiste Wärme verlangen. Das Terpenthinöl z. B., das erst bei 157° C. siedet, erfordert sieben Mal weniger Wärme als das Wasser, welches bei 100° siedet. Wenn man aber gleiche Atomgewichte nimmt, stellt sich eine vollkommen regelmässige Ordnung her. Man hätte diess schon an den vier zuvor bekannten Substanzen sehen können; allein deren wären doch zu wenig zum Verallgemeinern. Jetzt ist diess erlaubt, da man vierzehn Substanzen hat, und darunter sowohl einfache als zusammengesetzte, sowohl organische als unorganische. Wenn demnach eine Substanz bei einer höheren Temperatur siedet als eine andere, so kann man gegenwärtig behaupten, daß die zu ihrer Verdampfung nöthige Wärme grösser ist, wie übrigens auch ihre chemische Zusammensetzung beschaffen seyn mag. Siedet sie bei derselben Temperatur, so ist auch ihre Verdampfungswärme dieselbe. Man sieht diess z. B. am Brom, an der wasserfreien Schwefelsäure und am Schwefelkohlenstoff, die alle drei bei 46° C. gasförmig sind. Ein anderes Beispiel für hohe Temperaturen geben Quecksilber und Schwefelsäure.

Construirt man eine Curve mit den Siedpunkten und Verdampfungswärmen als Coordinaten, so findet man keine durch Zufall zur allgemeinen Curve hinausgestossene Punkte. Der Gang der Curve gegen die höheren Temperaturen hin läßt glauben, daß zur Verdampfung liquificirter Gase, wie Chlor, Kohlensäure u. s. w. noch eine sehr bedeutende Wärme erforderlich sey. Diess ist wenigstens für die schwefliche Säure gewifs.

Wenn gegeben sind: Das Atomgewicht einer Substanz und deren Siedpunkt von 10 Grad unter Null bis 350 darüber, sey es durch Interpolation oder durch Construction, so kann man gegenwärtig die Verdampfungs-

wärme finden; oder allgemeiner, wenn von den drei Elementen: Siedpunkt, Atomgewicht und Verdampfungswärme, zwei gegeben sind, so läßt sich das dritte bestimmen.

Da Körper von wesentlich verschiedener chemischer Zusammensetzung gleiche Verdampfungswärme besitzen, sobald ihr Siedpunkt derselbe ist, so wird man zu dem Schluß geführt, daß wenn die Atome der elementaren Bestandtheile von Verbindungen unter einerlei Umständen in Dampf verwandelt werden könnten, für alle genau dieselbe Wärmemenge erforderlich seyn würde. Man gelangt sonach zu einem Gesetz, welches für die Verdampfungswärme dasselbe ist, was das Dulong-Petit'sche Gesetz für die specifische Wärme ist. Es ist sogar allgemeiner, weil es unterschiedslos für einfache und zusammengesetzte Körper gilt. Die bekannten Abweichungen beim Dulong-Petit'schen Gesetz scheinen nicht vom chemischen Zusammensatz, sondern von der physischen Beschaffenheit der Atome abzuhängen.

Eine neue aus diesen Untersuchungen hervorgehende Thatsache ist: daß Brom, Jod und Schwefel mit derselben Wärmemenge ein halb so großes Dampfvolum bilden als die andern Substanzen unter gleichen Umständen. Diefs findet beim Quecksilber nicht statt.

Hienach ist leicht zu ersehen, daß das Gesetz über die Wärmegleichheit der Dampfatome nicht zusammenfällt mit dem Gesetz, welches gleiche Wärme für gleiches Volum beim Siedpunkt annimmt. Allein selbst für die Körper, deren Atomgewichte unter gleichen Umständen gleiche Volume Dampf bilden würden, findet nur annäherungsweise Gleichheit der Wärme bei Gleichheit des Volums statt, wie es übrigens schon Despretz bemerkt hat. Es läßt sich allgemein erweisen, daß diese angenäherte Gleichheit aus einer Compensation entspringt, die niemals vollkommen ist.

Wahrscheinlich geht aus den gesammten Angaben über

die Verdampfungswärme noch ein Gesetz hervor, nämlich: dafs die Verdampfungswärme einer Verbindung kleiner ist als die Summe der Verdampfungswärmen ihrer Bestandtheile. In der That ist die Verdampfungswärme eines zusammengesetzten Atoms oft kleiner als die eines einfachen Atoms, und sie wächst bei weitem nicht proportional mit der Anzahl der zusammensetzenden Atome. Addirt man die Verdampfungswärme der wasserfreien Schwefelsäure und die des Wassers, so findet man die Summe gröfser als die Verdampfungswärme der wasserhaltigen Schwefelsäure. Nimmt man diefs Gesetz an, so wird man zu dem Schlufs geführt, dafs der Alkohol keine Verbindung von Aether und Wasser ist, dafs er vielmehr nur ein Hydrat von Aethyloxyd seyn kann, denn die Summe der Verdampfungswärmen des Aethers und des Wassers ist kleiner als die eines gleichen Gewichts Alkohol.

Dulong hat gefunden, dafs die latente Ausdehnungswärme gleich ist für einfache und für zusammengesetzte Gase, oder anders gesagt, dafs, um einfache oder zusammengesetzte Gase unter einerlei Umständen gleich stark auszudehnen, eine gleiche Wärmemenge pro Atom erforderlich ist. Es scheint, dafs dieselbe Gleichheit und dieselbe Unabhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung bei der ungeheuren Ausdehnung stattfinden, welche den Uebergang aus dem flüssigen Zustand in den gasigen begleitet. Wasserfreie Schwefelsäure und Schwefelkohlenstoff, wenn sie unter einerlei Umständen verdampfen, bilden ein gleiches Volum mit einer gleichen Menge Wärme. Dasselbe gilt nahezu von Alkohol und Holzgeist, von Quecksilber und wasserhaltiger Schwefelsäure, wenn man letzterer die wahrscheinlichste Dichtigkeit giebt. Geschieht die Verdampfung nicht bei gleicher Temperatur, so bestätigt der Gang der Unterschiede doch noch die Wahrheit des Gesetzes, dafs, ungeachtet der Verschiedenartigkeit der Zusammensetzung, eine gleiche

Menge Wärme ein gleiches Volum Dampf unter einerlei Umständen erzeugt.

Offenbar muß man Schwefel, Brom und Jod für sich betrachten, um auf sie das Gesetz anzuwenden. Es ist nothwendig, die Körper nach den von gleicher Wärmemenge gebildeten Dampfvolumen wenigstens in zwei Klassen zu theilen.

Man kann jetzt einsehen, warum die Verdampfungswärmen die Ordnung der Siedpunkte befolgen. Betrachten wir zunächst Körper von derselben Klasse (mit gleichem Dampfvolum bei gleicher Verdampfungswärme). Sagen: daß der Siedpunkt höher sey, heißt sagen, daß das Dampfvolum größer sey; und es ist sehr natürlich, daß zur Erzeugung eines größeren Volums eine größere Wärmemenge nöthig ist. Betrachten wir nun Körper von verschiedenen Klassen, Wasser und Jod zum Beispiel. Sagen: daß der Siedpunkt des Jods höher sey, heißt sagen: daß sein Volum größer sey als die Hälfte des vom Wasser. Wäre es dieser Hälfte gleich, so würde der Siedpunkt derselbe seyn, und man hätte dieselbe Verdampfungswärme; da es aber größer ist, muß die Verdampfungswärme auch größer seyn. Ein höherer Siedpunkt zieht demnach immer eine größere Verdampfungswärme nach sich.

XI. Ueber die latente Wärme beim Uebergang aus dem starren in den flüssigen Zustand;

von Hrn. Person;

(Compt. rend. T. XX, p. 757. Briefliche Mittheilung.)

Im letzten Jahre (im vorhergehenden Aufsatz) meldete ich, daß einfache oder zusammengesetzte Substanzen, welche gleichen Siedpunkt haben, auch gleiche Verdampfungswärme besitzen, und daß bei den übrigen die Verdamp-

dampfungswärmen genau in der Ordnung der Siedpunkte stehen. In diesem Jahre habe ich gesucht, ob für die Wärme, welche beim Uebergang aus dem starren in den flüssigen Zustand gebunden wird, auch wohl ein einfaches Gesetz stattfindet. Ich untersuchte zunächst den Fall der Kältemischungen. Bei denen, die aus Eis und irgend einem Salze bestehen, ist, obwohl hiebei das Eis unterhalb Null und durch eine wirklich eine neue Verbindung bildende chemische Action schmilzt, die latente Wärme genau gleich derjenigen des Eises für sich und des Salzes, das sich in dem entstehenden Wasser löst. Daraus folgt, daß man mit diesen Mischungen mehr Eis bilden kann als man anwendet. Ich habe z. B. gesehen, daß 70 Grm. Eis und 20 Grm. Salmiak ungefähr 90 Grm. Eis gaben, wenn das Gefäß, worin die Mischung geschah, in Wasser von Nullgrad getaucht war. Diese Versuche dienen zur Stütze des Princip, welches man gegenwärtig festzustellen trachtet, daß, ausgegangen von demselben Punkt, um dasselbe Resultat zu erreichen, die von den Producten verbrauchte Wärme immer dieselbe ist, welcher einen Gang man auch einschlägt.

Ich wurde sonach veranlaßt, die bei Auflösung von Salzen in Wasser latent werdende Wärme zu messen. Ich habe gefunden, daß diese Wärme, nach Verhältniß des Salzes und Wassers, bedeutend variirt. Es bedarf 22 Wärmeeinheiten (*calories*), um 1 Grm. Kochsalz in 50 Grm. Wasser zu lösen, während 10 Einheiten zur Lösung von 4 Grm. hinreichen. Noch weniger bedarf es, wenn das Wasser gesalzen ist, z. B. nur drei Einheiten, wenn das Wasser $\frac{1}{6}$ Salz enthält.

Eine daraus hervorgehende sonderbare Thatsache ist: daß bei Verdünnung gewisser Salzlösungen mit Wasser Kälte entsteht. Man sieht z. B. aus den eben angeführten Zahlen, daß es weniger Wärme bedarf, um 1 Grm. trocknes Kochsalz zu lösen, als um seine Lösung mit Wasser zu verdünnen. Aus dem Journal *L'Institut* habe

ich ersehen, dafs Hr. Graham zu London die bei Verdünnung von Salzlösungen erzeugte Kälte studirt hat. Allein Hr. Graham hat nicht die latente Wärme gemessen; es ist sogar unmöglich, sie aus seinen Versuchen abzuleiten, da er die specifischen Wärmen seiner Lösungen nicht bestimmt hat.

Bemerkenswerth ist, dafs, ungeachtet der Wärmeabsorption, eine Volumsverringerung stattfindet; ich habe gefunden, dafs die Dichtigkeit der neuen Lösung die mittlere Dichtigkeit übersteigt.

Lösungen von Choralcium erzeugen immer Wärme, wenn man sie mit Wasser verdünnt; hier hat man also das Gegentheil von dem, was uns das Chlornatrium zeigt. Das krystallisirte Chlorcalcium erzeugt immer Kälte; allein dieses Salz, mit dem man Gemische bildet, die Quecksilber zu gefrieren fähig sind, macht dennoch keine sehr grofse Wärmemenge latent. In den eben erwähnten Verhältnissen, die mit Salmiak 20 Grm. Eis lieferten, giebt es nicht mehr als höchstens $5\frac{1}{2}$.

Ich will noch ein Wort über die Schmelzungswärme hinzufügen. Wie man in der Lösung eines Salzes eine chemische Action erblickt, und eine solche Action im Allgemeinen Wärme erzeugt, so sollte man geneigt seyn, zu glauben, dafs die latente Lösungswärme geringer seyn müsse als die der Schmelzungswärme. Und wirklich ist diefs der Fall beim Chlorcalcium und beim salpetersauren Natron, aber beim salpetersauren Kali und beim chloresäuren Kali findet das Gegentheil statt.

Ich habe gefunden, dafs wenn man die zur Schmelzung von 1 At. Eis erforderliche Wärme zur Einheit annimmt, nahezu erforderlich sind: 6 für Chlorcalcium, 8 für salpetersaures Kali und salpetersaures Natron, 9 für chloresäures Kali. Das ist die Ordnung der Schmelzung; allein meine Liste ist noch zu kurz, um irgend etwas daraus schliessen zu können.

Bei diesen Versuchen war es nöthig, Temperaturen

zu messen, die den Siedpunkt des Quecksilbers überstiegen. Ich verlängerte daher das Thermometer um etwa 100° . Ein Druck von 4 Atmosphären ist dann hinlänglich, um das Quecksilber in einem Thermometer bis zu 450° ohne Sieden zu halten. Dieser Druck bewirkt keine Ausdehnung, die hier in Betracht kommt; er hat sogar nicht verhindert, daß der Nullpunkt meines Thermometers nach und nach um 2 Grad gestiegen ist. Bei einem anderen Thermometer, bei dem ich bis 500° C. gehen wollte, fand zwar eine beträchtliche, bleibende Ausdehnung statt, allein die Kugel war auch aus dünnerem Glase, und der Druck betrug etwa 30 Atmosphären.

XII. *Ueber die specifische Wärme des Eises;* *von Hrn. Ed. Desains.*

(*Compt. rend. T. XX, p. 1345. Auszug.*)

Die englischen Physiker, welche im verfloßenen Jahrhundert die Theorie der specifischen Wärme aufstellten, haben, wie es Séguin in einem Bericht über ihre Arbeiten sagt, mehr vermuthet als gefunden, daß die specifische Wärme des Eises $= 0,9$ sey. Seitdem haben Desormes und Clément einerseits, und Avogadro andererseits dieselbe zu bestimmen gesucht. Die Ersteren wandten zwei Methoden an.

Bei der einen nahmen sie ein Stück Eis, kälter als Null, tauchten es in Wasser von Null, und wann sie die (höchste) Temperatur desselben erreicht hatten, wägten sie das ringsum angefrorene Eis, und leiteten daraus, mittelst einer bekannten Gleichung, die gesuchte specifische Wärme ab. Die Erwärmung des Eises konnte ungefähr zwei Stunden dauern.

Bei der anderen Methode gossen sie heißes Wasser auf Eis, das kälter als Null war, und maafsen das Minimum

der Temperatur des Wassers nach der Schmelzung des Eises. Bei der Rechnung setzten sie voraus, daß die von dem Eise aufgenommene Wärme gleich sey der von dem Wasser verlornen.

Ein nach der ersten Methode gemachter Versuch gab 0,75 für die specifische Wärme des Eises, ein anderer, nach der zweiten, 0,70, und mehre andere, nach beiden Methoden, wenig verschiedene Resultate. Allein sie nahmen bei ihren Rechnungen die latente Wärme des Wassers zu 75 an; wenn man darin die richtigere Zahl 79,25 einführt, geben die zwei erwähnten Versuche 0,78 und 0,27, stimmen folglich nicht mehr überein.

Hr. Avogadro vermeidet bei seinen Versuchen das Schmelzen des Eises. Er schließt es in ein kleines, wohl verstöpseltes Gefäß ein, und setzt dieß der Luft zur Winterzeit aus; dann nimmt er, nach ziemlich langer Zeit, die Temperatur der Luft für die des Eises, und taucht es in Alkohol, welcher sich nun bis unter Null erkältet. Er zieht den Einfluß des umgebenden Mittels in Rechnung, und sucht zu schätzen, welcher Unterschied noch zwischen der Temperatur des Eises und der des Alkohols bleiben konnte, wenn letzterer sein Minimum erreicht hatte.

Durch das Mittel zweier Versuche fand er 0,92; allein der eine für sich gab ihm 0,75, und der andere also etwa 1,09.

Eine Ursache der Unsicherheiten bei vorstehenden Versuchen lag darin, daß das Eis nur 7, 8 oder höchstens 10 Grad unter Null erkältet war, und folglich sich nicht um eine große Zahl von Graden erwärmen konnte. Ueberdies scheinen bei den Versuchen des Hrn. Avogadro, sowohl über die Temperatur zu Anfange als über die zu Ende, Zweifel übrig zu bleiben.

Es scheint mir auch, daß es bei der zweiten Methode der HH. Clément und Desormes recht schwierig sey, zu wissen, mit welcher Temperatur das auf das Eis gegossene Wasser auf diesem anlangt.

Und endlich dürfte weder bei der einen noch bei der anderen ihrer Methoden der Einfluss des umgebenden Mittels vernachlässigt werden.

Ich habe mich bemüht, diese Fehlerquellen zu vermeiden oder zu verringern.

Ich habe die Vermengungsmethode angewandt, d. h. kaltes Eis in warmes Wasser getaucht, und aus der Temperaturerniedrigung des Wassers die spezifische Wärme des Eises berechnet, mit Benutzung der von meinem Bruder und Hrn. Provostaye gefundenen Zahl 79,25. Ich habe mich bestrebt, das Eis kälter zu nehmen als es in den bisherigen Versuchen geschah; zu dem Ende erkältete ich es künstlich mittelst eines Gemenges von Eis und Salz, in einer Darre mit kalter Luft, analog der Darre mit heißer Luft, die Hr. Regnault zu seinen Versuchen über die spezifische Wärme anwandte. Das Eis ward in ein Körbchen von Messingdraht gebracht, in dessen Mitte sich ein Thermometer befand; das Körbchen war eingeschlossen in einen Cylinder, den ein zweiter Cylinder voll der Kältemischung umgab. Das Thermometer des Körbchens gelangte in drei Viertelstunden auf nahe -20° C., und mit einiger Sorgfalt erhielt man diese Temperatur mehr als zwei Stunden fast constant. Dann brachte man den Apparat über das Mengungsgefäß, und liefs das Körbchen in dasselbe hinab; die Temperatur des Wassers war einige Grade höher als die der Luft, und wurde mit Sorgfalt gemessen; sie sank noch ein wenig mehr, als die Schmelzung vollendet war. An den beiden Thermometern, welche die Temperatur des Eises und des Wassers angaben, nahm ein Zehntelgrad etwa ein Millimeter ein.

Um den Einfluss des umgebenden Mittels zu berechnen, machte man besondere Versuche über die Erkaltung und Erwärmung des mit Wasser gefüllten Mischungsgefäßes. Ich habe immer gesehen, dafs es, bei einem gleichen Unterschiede zwischen seiner Temperatur

und der der Luft, sich schneller erkaltete als erwärmte; ich schreibe dieses vor allem der Verdampfung des Wassers zu, welche die Erkaltung beschleunigt und die Erwärmung verlangsamt. Ich habe diesen Unterschied in der Rechnung berücksichtigt.

Durch ein Mittel mehrer wohl übereinstimmender Versuche, sowohl mit Schnee als mit Eis, habe ich für die specifische Wärme des Eises $= 0,513$ gefunden; die Extreme waren 0,505 und 0,521.

Mann kann die specifische Wärme des Eises auch bestimmen, ohne es schmelzen zu lassen, wenn man es z. B. in Terpentinöl erwärmt, und es so einrichtet, daß das Temperaturminimum des Oels unter Null liegt; es ist jedoch zu bemerken, daß im Augenblick dieses Minimums die Temperatur des Eises noch unter der des Oels liegt, und daß, wenn man für die Erwärmung des Eises den Unterschied zwischen seiner anfänglichen Temperatur und dem Temperaturminimum des Oels nimmt, man derselben einen zu großen Werth beilegt, und deshalb einen zu geringen für die specifische Wärme des Eises erhält. So angewandt, ist diese Methode also unrichtig; sie kann indess als Controle der ersteren dienen, wenn die Resultate, welche sie giebt, wirklich kleiner sind als die übrigen, und der Unterschied von einer Größenstufe ist, daß man ihn vernünftigerweise der bezeichneten Ursache zuschreiben kann. Und wirklich ist dieß der Fall, denn ich habe durch diese Methode 0,47 gefunden, statt 0,51.

Somit glaube ich schließen zu dürfen, daß Schnee und Eis eine gleiche specifische Wärme besitzen, die 0,51 zum Werth hat, d. h. faßt halb so groß ist wie die des Wassers.

Zusatz. Vorstehende Notiz hat Hrn. Person zu folgender Reclamation veranlaßt (*Compt. rend. T. XX, p. 1457*).

Am 31. März d. J. deponirte ich bei der Academie

ein versiegeltes Paket, welches unter anderem auch die Bestimmung der specifischen Wärme des Eises enthält. Erst am 5. Mai hat Hr. Desains seine Arbeit über denselben Gegenstand mitgetheilt; die Frage über die Priorität ist hier also entschieden. Ich bitte jedoch die Academie, die Eröffnung des Pakets zu verschieben, weil es andere Resultate enthält, die noch einer weiteren Bearbeitung bedürfen. Ich sage hier blofs, dafs ich durch drei in meiner Abhandlung aus einander gesetzte Methoden die specifische Wärme des Eises zwischen 0,50 und 0,56 gefunden habe. Ich habe mich für 0,56 entschieden, weil die specifische Wärme des Atoms dann genau $= 0,63$ wird, gleich der Zahl, welche Hr. Regnault für die Oxyde gefunden, die am meisten dem Wasserstoffoxyde nahe kommen, d. h. für Zinkoxyd und Manganoxydul (in dem 2 Atome Wasserstoff nur 1 Aequivalent Metall bilden).

Ich will noch zwei andere Resultate ausziehen, die mit der gegenwärtigen Frage in inniger Beziehung stehen.

Durch Messung der specifischen Wärme mehrerer Salze, die viel Krystallwasser enthalten, wie Borax und phosphorsaures Natron, habe ich gefunden, dafs man fast auf die vom Versuch gegebenen Zahlen zurückkommt, wenn man die specifische Wärme des Salzhydrats nach der Formel

$$\frac{mc + m'c'}{m + m'}$$

berechnet, wo m und m' die Proportionen, und c , c' die specifischen Wärmen des wasserfreien Salzes und des Eises sind. Das Krystallwasser ist also gewissermassen als Eis in den Salzen, wenigstens tritt es in diese mit der specifischen Wärme des Eises, und nicht mit der des Wassers ein. So verhält es sich im starren Zustande; im flüssigen findet das Gegentheil statt. Im Allgemeinen findet man sehr angenähert die specifische Wärme einer Salzlösung mittelst der obigen Formel, wenn man darin, statt $c' = 0,56$ zu nehmen, $c' = 1$ setzt.

Das andere Resultat besteht darin, daß erkaltetes Eis, gebracht in Wasser von strenger 0° , sich in's Unbestimmte mit Eis überzieht. Dieß macht das Verfahren von Clément und Desormes zur Messung der specifischen Wärme des Eises mangelhaft; und in der That findet man durch dasselbe Zahlen so groß wie man will, 2, 3, 4 Einheiten. Es scheint, als wirke das in das Wasser gebrachte Eis wie ein Krystall in gesättigter Salzlösung; was die aus dem Gefrieren entstehende Wärme betrifft, so geht sie vom Wasser zu dem schmelzenden Eise, welches die Hülle bildet.

XIII. Ueber die Gränze hoher und tiefer Töne: von Hrn. C. Despretz.

(*Compt. rend. T. XX, p. 1214.*)

Was hat man unter einem hörbaren Ton zu verstehen? Ist es ein Ton, der irgend eine Wirkung auf das Ohr ausübt, oder ist es einer, der in Bezug auf einen andern classificirbar ist?

Wir glauben, daß jede Reihe langsamer oder rascher Schwingungen, die nicht verglichen werden kann mit einer andern, einen bestimmten Ton gebenden, z. B. dem *Contra-C* des Violoncells oder Violons, kein Ton, sondern ein dumpfes oder helles Geräusch zu nennen ist.

Wollaston, in seinen Beobachtungen über die für gewisse Ohren unwahrnehmbaren Töne, und Savart, in einer spätern Arbeit über die Gränze der hörbaren Töne, scheinen nicht viel Achtsamkeit gelegt zu haben auf die Nothwendigkeit dieser Unterscheidung, ohne welche, wie mich dünkt, immer einige Verwirrung in dem Gegenstand herrschen wird, über den ich hier einige Beobachtungen vorzulegen die Ehre habe.

In französischen und ausländischen Werken citirt

man die Resultate der Versuche von Sauveur, Wollaston und Savart, so wie die von Chladni und Hrn. Biot angenommenen Zahlen. Betrachten wir zunächst den Zustand der Aufgabe.

»Für ein gesundes Ohr in seinem normalen Zustande, sagt Wollaston, scheint die Fähigkeit der Wahrnehmung von Tönen keine scharfe Gränze zu haben. Wenn man allmählig, in langsamer Fortschreitung, die Zahl der Impulse, welche einen Ton bilden, verringert, so wird man, welche Sorgfalt man auch darauf verwende, nicht leicht den Punkt angeben können, bei dem man einhalten muß, damit die Töne noch einen musikalischen Effect geben. Dessenungeachtet ist man, wenigstens bei keinem auffallenden Fehler im Ohr, noch empfindlich für Schwingungen, selbst wenn sie schon bloße Erzitterungen geworden sind, die man durch den Tact vernehmen und fast zählen kann').

Nach Chladni entsprechen die tiefsten, vom Menschenohre vernehmbaren Töne 30 einfachen Schwingungen in der Secunde²⁾. Hr. Biot und andere Physiker nehmen die Zahl 32 an, was der tiefste Ton der Orgel ist.

In den *Memoires de l'Académie, Ann. 1700, p. 140*, wird berichtet, Sauveur habe durch Versuche gefunden, daß eine Pfeife von 40 Fufs den tiefsten Ton gebe, den der Mensch noch unterscheiden könne. Wenn das Gesetz der Längen noch für diesen Fall gilt, wenn der erzeugte Ton der Grundton war, so würde das Resultat 25 einfache Schwingungen seyn. Es fehlt aber an Detail, um diese Angabe gehörig beurtheilen zu können; der Ton hätte in Bezug auf einen anderen, wohl bestimmten festgesetzt werden müssen. Ohne diese Bedingung hat der Versuch jenes sinnreichen Akustikers nur einen zweifelhaften Werth.

1) *Philosoph. Transact. f. 1820, p. 133.*

2) *Acoustique p. 6* (Akustik S. 294).

Savart betrachtet noch als musikalischen Ton denjenigen, der in seinem Apparat durch 7 bis 8 Schläge oder 14 bis 16 einfache Schwingungen erzeugt wird ¹⁾.

Der zu diesen Versuchen angewandte Eisenstab hatte eine Länge von etwa 83 Centm., und da ein kürzerer Stab eine bedeutend gröfsere Zahl von Schlägen erfordern würde, so schlofst der Verfasser, dafs ein Stab von gröfserer Länge als 83 Centm. einen bei geringerer Zahl von Schlägen wahrnehmbaren Ton veranlassen würde. Er wurde dadurch zu dem Glauben geführt, dafs es in der Hörbarkeit tiefer Töne keine Gränze gebe.

Entspränge der gehörte Ton wirklich aus der Zahl von Schlägen des Stabes gegen die Luft, so müfste er sehr tief seyn. Er würde eine Octave unterhalb des Tons einer 32füfsigen Pfeife liegen. Nun aber scheint dieser letztere schon kein musikalischer Ton mehr zu seyn; er besteht aus einer Reihe von Schlägen, einer Art von Trommeln. Auch finden die Erbauer grofser Orgeln bedeutende Schwierigkeit, den ersten Theil der 32füfsigen Octave, ohne Hülfe einer höheren Octave, zu stimmen. Es ist auch zu bemerken, dafs beim Orgelspiel die Stärke der Einblasung fast immer das Vorwalten der Octave bedingt.

Als ich der Einweihung der schönen, von den Herren Cavallier-Coll erbauten Orgel zu St. Denis beiwohnte, und meine Eindrücke mit denen von Savart angegebenen verglich, kam ich auf den Gedanken, dafs dieser berühmte Akustiker durch die grofse Intensität des Tones seines Apparats vielleicht zu einem Irrthum verleitet worden sey. Ich wurde dadurch zu einigen Versuchen veranlafst, mehr um mich selbst aufzuklären, als in der Hoffnung, einem schon mit so vieler Geschicklichkeit behandelten Gegenstand etwas Neues abzugewinnen.

Ich habe einige Versuche mit dem Apparat der *Fa-culté des sciences* wiederholt. Der Stab dieses Apparats ist 0^m,86 lang und 0^m,031 dick. Er ist von Holz, blofs

1) Ann. Bd. 22, S. 596.

an den Enden, an den Kanten, die gegen die Luft schlagen sollen, mit Kupferblech belegt. Ein Eisenstab ist wenig brauchbar; er verzieht und verrückt den Apparat. Wenn man diesen Apparat mit stufenweise vermehrter Geschwindigkeit in Umdrehung versetzt, so hört man bald einen Ton von großer Mächtigkeit; horcht man achtsam auf ihn, so ist es leicht, nach beendigtem Versuch das Unisono auf einem Basse zu nehmen. Man findet dann, daß bei keinem Versuch der Ton unter das *G* der 16füßigen Octave (*sol*₁) hinabgeht, wenn der tiefste Ton des Basses das achtfüßige oder große *C* ist (*ut*₁). Ich machte den Versuch folgendermaßen mit den beiden Brettern, wie Savart sie anwendet, und mit einem oder zwei Brettern und der von Hrn. Marloye hinzugefügten Büchse; allein der Ton änderte sich nur um eine Stufe. Wenn weder Brett noch Büchse vorhanden war, erwies sich der Ton noch fast als derselbe, nur ein wenig höher.

Ich glaubte, daß wenn der intensive Ton aus den Schlägen des Stabes gegen die zwischen beide Bretter eingeschlossene Luft entstände, er durch Verdopplung der Schläge auf die höhere Octave gebracht werden müßte. Ich bat demnach Hrn. Marloye, Bretter solcher Gestalt anzubringen, daß der Stab während jeder Umdrehung zwei Mal durch den Zwischenraum gehe. Dazu bedurfte es nothwendig vier Paare von Brettern, statt eines einzigen, welches sich am ursprünglichen Apparat befand. Ohne diese Bedingung würden die Schläge nicht gleichabständig gewesen seyn.

Der tiefste wahrnehmbare Ton des so eingerichteten und mit einem Zähler versehenen Apparats ist das Unisono vom 16füßigen *G* (*sol*₁); ihm entsprechen 96 einfache Schwingungen in der Secunde, wenn dem 8füßigen *C* (*ut*₁) 128 derselben entsprechen.

Wenn die Zahl der Schläge 15 bis 16 betrug, was 31 Schwingungen entspricht, war der von ihnen erzeugte Ton nicht mehr hörbar.

Nun versetzte man den Apparat wieder in den Zu-

stand; in dem er bei Savart's Versuchen war, d. h. man liefs ihm nur Eine Spalte; der tiefste vernehmbare Ton ward dadurch nicht merklich geändert. Er entsprach immer 96 Schwingungen, und dennoch war die Zahl der Schläge auf die Hälfte zurückgeführt, auf etwa 8 in der Secunde, die übrigens recht deutlich waren.

Wenn diese Beobachtungen richtig sind, so ist Savart wahrscheinlich durch die Intensität des Tons seines Apparates irre geleitet. Ich lege hier eine Stimmgabel vor, die das grofse *C* (*ut*,) des Violoncells angeht, und von Hrn. Marloye auf meine Bestellung für die *Faculté des sciences* angefertigt worden ist. Der Ton dieser grofsen Stimmgabel scheint im ersten Augenblick, selbst geübten Ohren, weit tiefer zu seyn als er wirklich ist.

Ich füge hinzu, dafs der geschickte Verfertiger des Apparats niemals bei Savart's eigenen Versuchen zu hören vermochte, dafs der Ton aus den Schlägen des Stabes entspringe; ebenso erging es Hrn. Cagniard-Latour.

Es entsteht bei diesem Apparat, wie in allen complicirten Apparaten, eine Vielheit von Tönen, indem die Luftmasse, die die Spalte bildenden Bretter, der Riemmen u. s. w. in Schwingungen gerathen und verschiedene Töne hervorbringen. Man kann mehre Töne unterscheiden und bestimmen. Hier ist indefs nur von dem tiefsten hörbaren Ton die Rede.

Betrachten wir jetzt die hohen Töne.

Wollaston glaubt, die Stimme der Fledermaus und des Feldheimchens bildeten die Gränze der höchsten vernehmbaren Töne. Er meint, dafs von den tiefsten Tönen der Orgel bis zu den höchsten der Insekten die Schwingungen 6 bis 700 Mal rascher seyen; diefs würde die obere Gränze auf 19000 bis 22000 einfache Schwingungen bringen. Sauveur, in der erwähnten Abhandlung, setzt die höchste Zahl auf 12400. Er gelangte zu diesem Resultat, indem er die Länge einer Pfeife, die

die den höchsten wahrnehmbaren Ton gab, verglich mit der Länge einer Pfeife, deren Grundton 100 Schwingungen in der Secunde entsprach.

Chladni blieb bei 22000 Schwingungen stehen. Savart suchte diese obere Gränze mit größerer Genauigkeit, als man vor ihm anwandte, durch mannigfaltige Versuche zu bestimmen¹⁾. Die von diesem berühmten Physiker erhaltenen Resultate sind folgende:

Die meisten Personen, die seinen Versuchen beiwohnten, konnten den Ton eines kurzen (159 Millim. langen) Glasstabes hören. Dieser Ton entsprach 31000 einfachen Schwingungen. Der Ton eines kürzeren (150 Millim. langen) Stabes, der 33000 Schwingungen entsprach, wurde bald gehört, bald nicht. Stahlstäbe lieferten als Gränze 32000 Schwingungen.

Tönende Pfeifen führten ihn nur auf 20000 Schwingungen. Er stützte sich bei verschiedenen Versuchen, um die Anzahl der Schwingungen zu schätzen, auf das Gesetz der Längen.

Die Anwendung gezahnter Räder erlaubte ihm, die Gränze der hörbaren Töne weiter auszudehnen. Da es hiebei schwierig war, einen Zähler zu gebrauchen, so schätzte er die Schwingungsanzahl mittelst eines Hülfsrades, das mit dem den Ton gebenden Rade auf Einer Axe befestigt war, und eine weit geringere Zahl von Zähnen hatte. So bestimmte er die obere Gränze auf 48000 einfache Schwingungen.

Nach Savart würde also das Menschenohr noch einen Ton von 48000 Schwingungen wahrnehmen können, sobald derselbe eine hinreichende Stärke besitzt.

Ich wollte sehen, bis wie weit das Ohr die Fähigkeit habe, die Töne nicht blofs zu hören, sondern zu vergleichen.

Hr. Marloye hatte bereits zwei kleine Stimmga-

1) Ann. Bd. 20, S. 290.

beln für mich gemacht, die das c^{III} ¹⁾ (ut_6) der Claviere angeben; sie dienten zu Versuchen über die Interferenz der Töne, deren Resultate noch nicht alle so rein sind, daß sie vorgelegt werden könnten, obwohl ich mit Hülfe zweier Pfeifen (*sifflets*) abwechselnde Schall- und Ruhelinien bekam, wie man bei dem Versuche mit zwei Lichtspalten abwechselnd helle und dunkle Streifen beobachtet. Er machte mir später Gabeln für c^{V} , c^{VI} , c^{VII} , c^{VIII} . Bei einiger Uebung und Gewohnheit vernimmt das Ohr noch alle diese successiven Octaven. Viele Personen hörten sie gut und hielten sie für Octaven.

Begnügt man sich demnach mit der Octave, welches für das Ohr das angenehmste und zugleich falschste Intervall ist, so kann man nicht allein Töne bis zu 65536 Schwingungen hören, sondern auch *classificiren*, dabei das grofse C (ut_1) zu 128 Schwingungen genommen. Als man zwischen c^{VI} und c^{VII} eine diatonische Tonleiter gemacht hatte, hörte man in der ganzen Reihe alle Intervalle. Ich behaupte freilich nicht, daß die Intervalle so genau erkennbar seyen, wie wenn man eine Reihe aus der Mitte der musikalischen Skale nehme; man gelangt dahin erst durch eine lange, mühsame und selbst für das Organ gefährliche Arbeit, denn schon das fortgesetzte Hören veranlafst heftiges Kopfweh. Indefs, wenn man diese Reihe mit Achtsamkeit untersucht, erkennt man, daß die Quarte zwischen c^{VI} und f^{VI} und die Quinte zwischen f^{VI} und c^{VII} richtig sind. Der vollständige Accord *ceg c* ist noch leichter erkennbar.

Ich habe nicht gesucht, eine Octave zwischen c^{VII} und c^{VIII} zu erhalten; man würde nur sehr mühsam dahin gelangt seyn, und überdiß wäre auch die Anstrengung für das Ohr zu groß gewesen. Begierig indefs, zu wissen, ob es nicht möglich sey, über c^{VIII} , den Ton von

1) Ich wähle die Bezeichnung c^{III} statt der üblichen c u. s. w., weil

letztere für den Druck höchst ungeschickt ist.

65536 einfachen Schwingungen, hinauszugehen, bat ich den Künstler, drei solche Stimmgabeln c^{VIII} zu machen, und an jeder einen Stiel von gewisser Länge zu lassen, um ihnen mehr Tonfülle zu geben. Ich hoffte, durch allmälige Verkürzung dieser Stimmgabeln vielleicht auf ein wahrnehmbares Intervall und auf die Octave c^{IX} zu gelangen. Man erreichte das Unisono ziemlich leicht; allein als eine der Stimmgabeln so weit verkürzt wurde, daß sie beinahe d^{VIII} gab, tönte sie nicht mehr, sobald als man ein wenig abfeilte; sie ertönte abermals, so wie man ihr ihre frühere Länge wieder gab. Niemals war es aber möglich, sie über d^{VIII} hinaus, d. h. über 73700 einfache Schwingungen zum Ertönen zu bringen.

Diese Stimmgabeln gaben, ungeachtet ihrer Kleinheit, einen Ton von bedeutender Stärke; so wurde die Stimmgabel ut^{VII} durch eine Thür und noch im Abstand von einigen Metern gehört. Die Stimmgabel ut^{VIII} wurde von der Mitte des großen Amphitheatres der Sorbonne aus bis zu dessen Enden von mehr als 9 Personen unter 10 (*par plus de neuf personnes sur dix*) gehört.

Wenn vorstehende Versuche richtig sind, so folgt:

1) Daß es gegenwärtig nicht erwiesen ist, daß das Menschenohr Töne von weniger als 32 einfachen Schwingungen vernehmen und bestimmen könne.

2) Es ist erwiesen, daß das Ohr Töne von 32 bis 73000 Schwingungen mit mehr oder weniger Schwierigkeit vernehmen und erkennen kann (*entendre, apprécier, classer*).

Ich füge die Bemerkung hinzu, daß das Hören sehr hoher Töne nicht so rasch geschieht, daß man dieselben in die musikalische Skale einführen könnte. Die Instrumentenmacher haben übrigens das Mögliche erreicht, wenn nicht überschritten, wie aus der Prüfung einiger Instrumente zu ersehen ist.

Auf den ausgedehntesten Clavieren entspricht der tiefste Ton dem 16füßigen C (*correspond à ut₁, ou ut*

16 *pieds ouvert*), und der höchste Ton dem 5gestrichenen *c* (*ut*). Untersucht man näher, so findet man, daß bei der größeren Mehrzahl von ihnen die Hälfte der untersten Octave nichts Bestimmtes darbietet, und die zweite Hälfte der obersten Octave aus klanglosen (*insignifiants*), schwer unterscheidbaren Tönen besteht. Man kann daher dem Claviere eine ganze Octave nehmen, ohne den Werth und die Hilfsquellen dieses so verbreiteten Instruments zu verringern¹⁾.

Auf dem Contrabass, wo der tiefste Ton dem 16füßigen *C* (*ut*₋₁) entspricht, sind selbst geübte Künstler genöthigt, den ersten harmonischen Ton mitzugreifen, um den Accord zu erhalten.

In großen Orgeln findet man Pfeifen von 32 Fufs an bis zu einigen Linien Länge. Wir haben vorhin gesagt, daß der Accord der tiefen Töne immer einige Unsicherheit hinterläßt. In mehr als einem Instrumente ist man über die höchsten Töne der Vögel und Insekten hinausgegangen.

Ich erlaube mir hier einige Anwendungen vorzuschlagen, jedoch mit dem Vorbehalt, den meine schwache Competenz mir auferlegt.

Könnte nicht die Heilkunde kleine Stimmgabeln von *c*^{II} bis *c*^{VII}, mit oder ohne Resonanzkasten, anwenden, um bei Gehörkrankheiten die wachsende oder abnehmende Empfindlichkeit zu erkennen?²⁾ Die

1) Diese Aeußerung hat einen Pianoforte-Fabrikanten, Hrn. Pape, zu einer Reclamation veranlaßt, welche Hr. Despretz dahin beantwortet, daß sein Ausspruch nicht allen, sondern nur den meisten Clavieren gegolten habe. Er erwähnt bei dieser Gelegenheit, daß Hr. Marloye drei von Hrn. Pape verfertigte Pianoforte's von acht Octaven gesehen, deren hohe Töne zwar schön gewesen, während die der tiefsten Octave aber doch ununterscheidbar (*inappréciables*) geschienen hätten. (*Compt. rend. T. XX, p. 1477.*)

2) Auf diese Frage erwidert Hr. Bonnafont in einer späteren Nummer der *Compt. rend. T. XX, p. 1498*, daß er bereits im J. 1832, im damaligen Lehrhospitale zu Algier, dergleichen Anwendungen versucht

Die Wirkung, welche eine Stimmgabel c (ut_2) ausübt, wenn sie auf die Stirn oder Brust gesetzt wird, ist vielleicht eine Anzeige von der Wirksamkeit der Anwendung dieses Apparats in der Heilkunde; auf der Stirn bewirkt sie ein Dröhnen (*étonnement*), eine ähnliche Erschütterung wie die, welche ein Sturzbad verursacht.

Sollten nicht Stimmgabeln von mittlerer Gröfse, einzeln oder zu Accorden gestimmt, mit oder ohne Resonanzkasten, durch ihre Verknüpfung mit dem Pianoforte oder mit kleinen Orchestern schöne Wirkungen geben? Eine Reihe von mittleren Stimmgabeln, die ich hier vorlege, und die ich habe construiren lassen, um die Folgereihe der harmonischen Töne einer Saite oder einer offenen Pfeife darzustellen, wird eine Idee von der Schönheit und Reinheit dieser Instrumente geben.

Die großen Stimmgabeln C und C_1 (ut_1 und ut_{-1}) würden Pedale liefern, die durch Schönheit, Reinheit und selbst durch die Stärke der Töne alles überträfen, was Flöten und Zungenpfeifen leisten können. Man würde durch Accorde zwischen C und c (ut_1 und ut_2) Effecte erreichen, die in der gegenwärtigen Musik ganz unbekannt sind.

habe. Seiner Angabe nach setzte er anfangs eine tönende a^{II} -Stimmgabel tauben Personen an verschiedenen Stellen auf den Schädel, und bemerkte, daß sie den Ton an einigen Stellen hörten, an anderen nicht. Darauf versuchte er eine ganze Reihe von Stimmgabeln aus derselben Octave, und beobachtete dabei, daß da, wo das a^{II} nicht gehört worden, die tieferen Töne sehr deutlich hörbar waren. Manchmal war es schon der nächstfolgende Ton, der nicht mehr gehört wurde, manchmal mußte er zwei bis drei Töne hinabgehen. Er hat auch bemerkt, daß in dem Maasse die Empfindlichkeit des Ohrs abnimmt, dasselbe die Hörbarkeit für die hohen Töne verliert, während es die tieferen noch deutlich wahrnimmt, es mag nun die Stimmgabel dicht vor das Ohr gehalten oder, wenn die Taubheit weiter vorgerückt ist, auf den Schädel gesetzt werden. Eine Person konnte weder h^{II} noch a^{II} hören, nahm aber e^{II} ziemlich und c^{II} sehr deutlich wahr. Hr. B. glaubt, darnach die Heilbarkeit verschiedener Grade von Taubheit beurtheilen zu können.

Es wäre wünschenswerth, daß die mit der Errichtung der großen Orgeln in der St. Magdalenen- und St. Eustache-Kirche beauftragten Orgelbauer einige Versuche in dieser Beziehung machten. So wie die Sachen jetzt stehen, kann der Organist selber nicht die Stimmgabeln zum Ertönen bringen; allein bis man einen Mechanismus hätte, der mit den Fingern oder Füßen gespielt würde, wäre es leicht, einen der Bälgentreter einzutüben, daß er auf ein vom Organisten gegebenes Zeichen die Stimmgabeln ertönen liefse. In einem Orchester würde dies noch leichter seyn.

Es sind erst wenige Jahre, daß man die Stimmgabeln in den Orchestern gebraucht, um den Ton anzugeben und die Arbeit des Stimmens zu erleichtern. Als ich bei einem sehr geschickten und geübten Künstler, der bei Hrn. Biot Akustik gehört und an den meisten der Savart'schen Apparate mitgearbeitet hatte, eine Stimmgabel *c* bestellte, mußte er erst einige Probeversuche machen. Gegenwärtig hat Hr. Marloye eine solche Sicherheit erlangt, so daß er an einer Stimmgabel *C*, so wie sie roh aus dem Gusse kam, die Dicke ganz unverletzt zu lassen, und von der Länge kaum zwei Linien abzunehmen brauchte. Es ist wahrscheinlich die größte, die je ausgeführt wurde.

Ich behaupte keineswegs, der Erste zu seyn, der den Wunsch hegte, Instrumente und Apparate, die bisher nur zu physikalischen Vorlesungen benutzt wurden, in die geistliche und weltliche Musik eingeführt zu sehen. Ich glaube vielmehr, daß dieser Wunsch Allen überkommen seyn muß, welche die Töne langer Stahlstäbe, Glocken (*timbres*) und Stimmgabeln mit oder ohne Resonanzkasten gehört haben. Ich wollte bloß den Künstlern Hilfsquellen andeuten, deren Daseyn ihnen unbekannt zu seyn scheint.

Zusatz. Im Vorstehenden haben wir das Ohr als normal vorausgesetzt, in dem Zustande, in welchem es

tiefe und hohe Töne gleich gut wahrnimmt. Dieß ist der Fall bei den meisten Personen. Wir beschäftigen uns hier nicht mit der verschiedenen Hörfähigkeit der beiden Ohren Eines Individuums oder der Ohren verschiedener Individuen. Wir haben die Aufgabe nur auf den einfachsten und, unserer Meinung nach, wichtigsten Fall zurückführen wollen, um sicherer zu einer klaren und sauberen Lösung zu gelangen.

XIV. Ueber das elektro-magnetische Chronoskop; von Hrn. Wheatstone.

(*Compt. rend. T. XX, p. 1554.*)

Aus den *Compt. rend.* der Acad. der Wissenschaften ersehe ich, daß in der Sitzung vom 20. Jan. eine Mittheilung von Hrn. Breguet vorgelesen worden ist, in welcher er Hrn. Capitain v. Konstantinoff und sich selber die Erfindung des elektro-magnetischen Chronoskops zuschreibt¹⁾, eines Instruments, welches ich vor mehreren Jahren erfunden und angefertigt habe, um rasche Bewegungen und besonders die Geschwindigkeit von Geschossen zu messen.

Es war zu Anfange des Jahres 1840, als ich dieß Instrument erfand. Mein Chronoskop bestand damals aus einem Uhrwerk mit Zeiger, der ging oder still stand, je nachdem ein Elektromagnet auf ein Stück weiches Eisen wirkte, es anzog, so wie ein Strom den Schraubendraht dieses Magneten durchlief, oder es losliefs, so wie der Strom aufhörte, ganz wie in meinem elektro-magnetischen Telegraphen, von dem diese Erfindung als eine Ableitung angesehen werden kann. Die Dauer des Stroms

1) Vergl. Ann. Bd. 64, S. 459.

wurde sonach durch die Größe des von jenem Zeiger durchlaufenen Bogens gemessen.

Zwischen der Dauer des Stroms und der Bewegung des Geschosses war auf folgende Weise eine Beziehung errichtet. Ein Holzring umfasste die Mündung einer geladenen Kanone, und ein ausgespannter Metalldraht verband zwei gegenüberliegende Punkte dieses isolirenden Ringes, ging somit vor dem Lauf querüber. In einer gehörigen Entfernung war ein Ziel aufgestellt, solchergestalt, daß die geringste Bewegung, die ihm eingeprägt ward, eine kleine Metallsfeder mit einem anderen Metallstück in bleibende Berührung setzte. Der Metalldraht des Elektromagneten war an einem Ende mit einem der Pole einer kleinen Volta'schen Batterie verknüpft, und am anderen Ende des Elektromagneten waren zwei Metalldrähte befestigt, von denen der eine zu der kleinen Feder des Ziels, und der andere zu einem der Enden des vor der Kanonenmündung ausgespannten Drahtes führte. Vom andern Pol der Batterie gingen ebenfalls zwei Drähte aus, von denen einer zu dem festen Unterstück des Ziels und der zweite zum andern Ende des vor dem Kanonenlauf ausgespannten Drahtes führte. Somit war, vor dem Abfeuern der Kanone, zwischen dieser und dem Ziele eine ununterbrochene Drahtschließung hergestellt, von welcher der Draht vor der Mündung der Kanone einen Theil ausmachte. So wie die Kugel an das Ziel schlug, war die Kette abermals geschlossen; aber während das Geschoss durch die Luft flog, und nur während dieser Zeit, waren die beiden Schließungen unterbrochen, und die Dauer dieser Unterbrechung ward durch's Chronoskop angezeigt.

Schon hatte ich durch meinen elektro-magnetischen Telegraphen gezeigt, daß die Magnete, bei zweckmäßiger Vorrichtung, durch eine sehr schwache Batterie zur Wirksamkeit gebracht werden können, selbst wenn die Drahtschließung eine Länge von mehreren (engl.) Meilen

bat. Folglich können Kanone, Ziel und Chronoskop beliebig weit von einander aufgestellt werden. Vermöge der großen Schnelligkeit, mit welcher, wie meine Versuche in den *Philosophical Transactions* f. 1834 beweisen¹⁾, die Elektrizität fortgepflanzt wird, kann aus ihrer Bewegung kein merkbarer Fehler entspringen.

Während eines Besuchs, den ich Brüssel im September 1840 abstattete, beschrieb ich diesen Apparat meinem Freunde, Hrn. Quetelet, der darüber am 7. October der dortigen Academie der Wissenschaften eine Mittheilung machte, deren auch im *Bulletin* von jener Sitzung erwähnt ist.

Bei einem späteren Aufenthalte in Paris (Mai 1841) erklärte und zeigte ich in Abbildungen diesen Apparat mehreren Mitgliedern der Pariser Academie der Wissenschaften, die zu mir nach dem *Collège de France* gekommen waren, wo ich, durch die Gefälligkeit des Hrn. Regnault, Gelegenheit erhalten hatte, vor mehreren von ihnen meine elektro-magnetischen Versuche zu wiederholen. Unter ihnen war auch Hr. Pouillet gegenwärtig, der mich um die Erlaubniß bat, meine Zeichnungen copiren zu dürfen, was ich bereitwillig zugestand. Im verflossenen December erfuhr ich von ihm, daß diese Zeichnungen noch in seinem Besitze seyen.

Bei meiner Rückkehr nach England hegte mein Freund Chapman, Capitain in der Königl. Artillerie²⁾, überzeugt von dem Nutzen dieses Instruments, den Wunsch, daß es bei der Artillerie zu Woolwich eingeführt werde, und gab

1) S. Ann. Bd. 34, S. 464.

2) Schon seit langer Zeit unterhielt ich mit dem Capitain Chapman einen Briefwechsel über diesen Gegenstand. In einem seiner Briefe, vom 27. August 1840, nachdem er mir seine Ansichten über die Ausführungsweise dieser Versuche mitgetheilt, sagt er: „Wir werden somit die Geschwindigkeit des Geschosses in jedem Querschnitt seiner Bahn erhalten, und ich wage zu glauben, daß wir zu einer Kenntniß von der Wirkung der Schwerkraft auf das Geschoss gelangen, die weit genügender ist als Alles, was man bisher erhalten hat.“

sich viel Mühe, dies zu erlangen. Wir hatten zu dem Ende mit dem verstorbenen Lord Vivian, damals Chef der Artillerie (*Master general of Ordnance*, Generalfeldzeugmeister), eine Unterredung, und am 17. Juli 1841 setzte ich in der K. Artillerieschule die Construction und verschiedenartigen Anwendungen des Instruments auseinander. Zweiundzwanzig Officiere wohnten dieser Sitzung bei, von welcher das Protokoll (das ich noch besitze) sagt, daß mein Chronoskop $\frac{1}{1000}$ Secunde anzeigte, und daß mein Zweck wäre, die Anwendung desselben zum practischen Gebrauche zu zeigen, d. h. »zur Bestimmung der Zeit, die ein Geschofs zur Durchfliegung verschiedener Stücke seiner Bahn gebraucht, und zu der seiner Anfangsgeschwindigkeit.«

In derselben Sitzung zeigte ich »ein Chronoskop, bestimmt zur Messung der Geschwindigkeit von Blitzen, wie sie durch Entzündung von Schiefspulver erzeugt werden.« Dies Instrument, das einzige, welches Hr. Breguet mir zuschreibt, hatte nichts mit elektrischen Strömen gemein, wie er es voraussetzt. Es war nichts als eine Reihe von Rädern, die auf drei Axen leichte Papierscheiben, jede von etwa 1 Zoll Durchmesser, trugen. Die Umlaufszeiten derselben verhielten sich wie 1 : 10 : 100, und es machte also die am schnellsten umlaufende Scheibe 200 Umdrehungen in der Secunde. Auf jeder Scheibe war ein Radius gezogen. Wenn sie vom elektrischen Funken beleuchtet wurden, erschienen alle diese Radien in Ruhe, und zwar wegen der außerordentlich kurzen Dauer dieses Lichts (wie in meiner Abhandlung: *Ueber die Geschwindigkeit der Elektrizität und die Dauer des elektrischen Lichts, Philosoph. Transact. f. 1834*¹⁾ auseinandergesetzt ist); wenn sie aber von einem Blitz, dessen Dauer ein Zweihundertel einer Secunde betrug, beleuchtet wurden, so erschien die dritte Scheibe in gleichförmigem Farbenton, während die zweite Scheibe einen

1) Ann. Bd. 34, S. 464.

Schattensector von 36° zeigte. Wenn der Blitz nur ein Zweitausendstel einer Secunde dauerte, kam auf der dritten Scheibe ein ähnlicher Sector zum Vorschein.

Aus mehren Gründen wurden meine Versuche mit dem elektro-magnetischen Chronoskop nicht fortgesetzt zu Woolwich. Im J. 1842 machte ich die Bekanntschaft von Hrn. v. Konstantinoff, Artillerie-Hauptmann in der K. Russ. Garde und Adjutant des Generals v. Winspaer. Er nahm viel Interesse an dieser Angelegenheit, bezeugte lebhaft den Wunsch, einen vollständigen Apparat zu besitzen, um bei seiner Rückkehr nach Rußland eine solche Reihe von Versuchen zu unternehmen, wie ich beabsichtigt hatte. Da ich selbst nicht Zeit hatte, diese Versuche zu verfolgen, und da in England keine geschicktere oder besser hiezu gestellte Person einen Wunsch zu deren Fortsetzung zeigte, so willigte ich gern ein, hoffend, daß daraus einige wichtige Resultate für die Wissenschaft hervorgehen möchten. Die einzige Bedingung, die ich zu meiner Einwilligung machte, war die: daß Hr. v. Konstantinoff keine Beschreibung von dem Apparat veröffentliche, bevor ich selbst es nicht gethan hätte. Das Instrument, welches ich Hrn. v. Konstantinoff lieferte, und welches im Januar 1843 nach Paris an ihn abgesandt wurde, war anders als das zuvor beschriebene construiert, doch im Wesentlichen nach demselben Princip.

Ich fand durch Versuche, daß wenn ein Stück weiches Eisen durch einen Elektromagneten angezogen worden war, und der Strom alsdann aufhörte, dasselbe, obwohl es sogleich abzufallen schien, doch noch eine Zeit hindurch im Contact blieb, die mehrmals einen bedeutenden Bruch von einer Secunde betrug. Die Dauer dieser Adhärenz nahm zu mit der Stärke des Stroms und mit der Schwäche der Reactionsfeder. Um sie auf ein Minimum zurückzuführen, war es nöthig, einen sehr schwachen Strom anzuwenden und den Widerstand der Kette

so weit zu vermehren, daß die Anziehungskraft des Magneten nur noch um eine sehr geringe Gröfse die Reactionskraft übertraf. Allein alsdann hatte der Magnet nicht Kraft genug, das Eisen anzuziehen, wann das Geschofs an das Ziel schlug. Indefs überwand ich die Schwierigkeit auf folgende Weise:

Ich ordnete die Drähte der Schließung so an, daß, bevor die Kugel aus der Kanone flog, der Strom eines einzigen, sehr kleinen Elements, der mittelst eines auch in die Kette eingeschalteten Rheostats ¹⁾ gehörig abgeglichen war, auf den Elektromagneten wirkte, daß aber, wenn die Kugel an's Ziel schlug, sechs Elemente, ohne den Widerstand des Rheostaten, zugleich auf denselben wirkten. Allein selbst bei dieser Vorrichtung, wiewohl sie bis zu einem gewissen Grade wirksam war, ging noch Zeit verloren, sowohl während der Anziehung des Eisens durch den Magnet, als auch während seiner Adhärenz nach Aufhebung des Stroms. Der Unterschied dieser beiden Fehler machte Approximationen von $\frac{1}{500}$ bis $\frac{1}{1000}$ Secunde ganz unsicher. Indefs kann der aus dieser Quelle entspringende Fehler leicht bis auf weniger als $\frac{1}{60}$ oder $\frac{1}{100}$ Secunde reducirt werden, und meiner Meinung nach ist ein Chronoskop, welches die Secunde in 60 Theile theilt, und erweislich niemals zu einem Fehler größer als ein solcher Theil Anlaß giebt, vorzüglicher als ein Instrument, welches kleinere Theile zu messen verspricht, aber dabei Fehler von einer guten Anzahl dieser Theile macht.

Geleitet von diesen Erfahrungen, ward ich in Stand gesetzt, ein sehr einfaches und sehr wirksames Chronoskop zu construiren. Ein sehr einfaches Echappement wurde bewegt durch ein Gewicht; dieses hing an dem Ende eines Drahtstücks, welches auf einem an der Axe eines Hemmrades befestigten Cylinder zu einer hohlen Schraube aufgewickelt war. An dieser Axe war auch ein Zeiger angebracht, welcher also bei jeder Auslösung einen

1) Ann. Bd. 62, S. 508.

Theilstrich vorrückte. Wenn es nöthig war, die Zeit des Versuches zu verlängern, wurden das Hemmrad und der Cylinder auf zwei verschiedenen Axen angebracht, und durch ein Getriebe und ein gezahntes Rad mit einander verknüpft; in diesem Fall waren zwei Zeiger angebracht. Mittelst dieser Construction vermeidet man die Beschleunigung der Bewegung, welche stattgefunden hätte, wenn kein Echappement dagewesen wäre, und der Zeiger durchsprang jede Abtheilung in gleicher Zeit. Das Gewicht war so eingerichtet, daß es sich reguliren liefs; und der Werth einer Abtheilung wurde erhalten, indem man die Zeit des ganzen Falls dividirte durch die Anzahl der während derselben durchsprungenen Abtheilungen. Allein es lassen sich noch genauere Methoden anwenden.

Mittelst dieses Instruments mafs ich die Zeit, welche eine Pistolenkugel bei verschiedenen Ladungen zur Durchfliegung verschiedener Weiten gebrauchte. Die Wiederholung dieser Versuche gab leidlich constante Resultate, einen Unterschied von mehr als einer Abtheilung des Chronoskops ¹⁾. Ich mafs auch den Fall einer Kugel von verschiedenen Höhen herab, und das Gesetz der beschleunigten Geschwindigkeiten ergab sich mit mathematischer Strenge. Mit dem Apparat, dessen ich mich zu diesem letzteren Versuch bediente, konnte ich den Fall einer Kugel, von der Höhe eines Zolls herab, messen. Es würde ohne Zeichnungen schwer seyn, eine Idee von den verschiedenen Einrichtungen zu geben, die ich wählte, um das Instrument zu verschiedenen Reihen von Versuchen anwendbar zu machen; allein ich kann erwähnen, daß ich unter andern vorhabe, dasselbe zur Messung der Geschwindigkeit des Schalls in Luft, in Wasser und in festem Gestein anzuwenden, und eine Annäherung erwarten, wie man sie bisher noch nie erhalten hat.

Aufser dem Instrument, welches ich Hrn. v. Kon-

1) Diese Versuche, denen Sir James South und der berühmte Waffenschmied Hr. Purday beiwohnten, geschahen im October 1842 auf dem Grundstück der Sternwarte zu Camden-Hill.

stantinoff im April 1843 lieferte, liefs Hr. Prof. Christie eins für das physikalische Cabinet der Militär-Academie zu Woolwich anfertigen, und ein anderes wurde um dieselbe Zeit für Hrn. Addams gemacht, der sich desselben seitdem beständig bei seinen Vorlesungen im *United service Museum* bediente.

Eine für gewisse Versuche wichtige Abänderung des Apparats will ich noch erwähnen. Sie besteht darin, daß man, statt die Kette zu öffnen und wieder zu schliessen, wie zuvor gesagt, den Elektromagneten mittelst zwei gleicher und entgegengesetzter Ströme in Gleichgewicht hält, und darauf den ersten und den zweiten Strom unterbricht. Der zweite Strom wird durch eine Kugel unterbrochen, die einen Rahmen durchfliegt, der in parallelen, dicht zusammen liegenden Linien mit einem in der Kette befindlichen, sehr feinen Metalldraht überzogen ist. Diese Vorrichtung liefert die Mittel zur Anwendung eines von dem ersten ganz verschiedenen Chronoskop. Zwei Pendel, von denen das eine halbe Secunden schlägt, und das andere einen etwas schnelleren Gang hat, werden jedes an dem Ende ihres Schwingungsbogens durch einen Elektromagneten gehalten. Wann die Kugel aus dem Gewehr fliegt, wird das eine Pendel in Freiheit gesetzt, und wann sie den Metalldraht des Rahmens zerreißt, geschieht es mit dem andern. Man zählt alsdann die Schwingungen eines der Pendel, bis seine Bewegung mit der des andern zusammen fällt, und hienach bestimmt man leicht die Zeit, welche die Anfänge der ersten Schwingungen beider Pendel trennte.

Die Instrumente, welche ich wirklich construirte, hatten keinen andern Zweck, als die Zeit zwischen dem Anfange und dem Ende der Bewegung einer abgeschossenen Kugel anzugeben. Hr. v. Konstantinoff wünschte ein Instrument zum Messen der Zeit, die den successiven Stücken der Bahn entspräche. Obgleich ich damals glaubte, und noch jetzt glaube, daß es besser sey, sie mittelst

successiver Schüsse zu bestimmen, so erdachte ich doch einen Apparat zu diesem Behufe, aber ich unternahm die Construction desselben nicht, wegen seines hohen Preises und seiner großen Zusammengesetztheit, obwohl dasselbe häufig der Gegenstand unserer Unterredungen war. Nach seiner Abreise von England und während seines Aufenthalts in Paris wandte sich Hr. v. Konstantinoff zur Verwirklichung seiner Ideen später an Hr. Breguet, um von der Geschicklichkeit und dem Erfindungstalent dieses Künstlers zu profitiren. Ich bin vollkommen überzeugt, daß Hr. v. Konstantinoff niemals die Absicht hatte, sich diese Erfindung zuzuschreiben, und daß es ganz ohne seine Genehmigung und sein Vorwissen geschah, daß Hr. Breguet es that¹⁾.

Was das von Hr. Breguet beschriebene Instrument betrifft, so halte ich es für viel weniger genau, für viel complicirter und kostspieliger, als irgend eins der zuvor von mir erfundenen. Bloß wenn es die Anfangs- und die Endgeschwindigkeit einer Kugel bestimmen soll, ist das Instrument des Hr. Breguet mit fünf Elektromagneten und deren Mechanismen versehen, wogegen das meinige dasselbe Resultat mit einem einzigen Elektromagnet erreicht; und wenn die verschiedenen Stücke einer Trajectorie untersucht werden sollen, schlägt Hr. Breguet noch einen Hilfsmagnet vor, und macht andere Zusätze zu jeder der Scheidewände, welche die Kugel durchschlagen muß. Wäre Herr Breguet besser von den Mitteln unterrichtet gewesen, durch welche ich eine Reihe successiver Messungen an einer selben Trajectorie erhalten mußte, so würde er gefunden haben, daß das, was er, selbst mit einem Dutzend Elektromagnete, zu erhalten

- 1) Bevor Hr. v. Konstantinoff London verließ, gab er mir ein Schreiben, vorin es unter andern heißt: „Da Hr. Wheatstone die Gefälligkeit gehabt, für mich ein von ihm erfundenes Instrument zur Messung des Falls der Körper, der Anfangsgeschwindigkeiten von Geschossen anfertigen zu lassen, so mache ich mich verbindlich u. s. w.“

suchte, auf eine wirksamere Weise mit einem einzigen zu erhalten seyn würde. Mein Plan war folgender:

Ein Cylinder dreht sich um eine Schraube, solcher-
gestalt, daß er bei jedem Umgang einen Viertelzoll vor-
rückt; an einem Ende des Cylinders sitzt ein gezahntes
Rad von etwas größerem Durchmesser als der Cylinder;
dasselbe greift in ein Getriebe, dessen Länge gleich ist
dem ganzen Axenstück, um welches der Cylinder bei sei-
nen successiven Umdrehungen sich verschiebt. Das Ge-
triebe ist verbunden mit dem Räderwerk, welches in Be-
wegung gesetzt wird durch ein Gewicht; letzteres hängt
an einem Faden, der sich um einen Cylinder schlingt;
und das Räderwerk ist versehen mit einem Regulator,
der die Bewegung abgleicht. Ein Bleistift, befestigt am
Ende eines kleinen Elektromagneten, wird mit dem Cy-
linder in Contact gehalten, und zieht darauf eine Schrau-
benlinie, die jedesmal unterbrochen wird, wenn der Strom
aufhört.

Ich entlehnte die Idee zum chronoskopischen Theil
dieses Apparats von einem zur Messung sehr kleiner Zeit-
räume bestimmten Instrument, welches von dem verstor-
benen Thomas Young erfunden, und in seinen *Lectures on Natural philosophy* abgebildet ist. Man wird
nach dem bereits Angeführten leicht begreifen, auf wel-
che Weise Anfang und Ende der Bewegung eines Ge-
schosses durch dieses Instrument angezeigt werden. Die
intermediären Perioden werden auf folgende Weise regi-
strirt. An den festgesetzten Punkten der Bahnlinie des Ge-
schosses errichtet man Rähme, überzogen mit einem Netz
von Metalldraht; das Geschoss zerreißt die Drähte, in-
dem es durch die Rähme fliegt; man gebraucht so viele
Volta'sche Batterieen als es Paare von Rähmen giebt,
deren Drähte übrigens mit den Polen dieser Batterien
und mit dem Draht des Elektromagneten verknüpft sind,
dergestalt, daß der elektrische Strom den Schraubendraht
des Elektromagneten durchläuft oder zu durchlaufen auf-

hört, je nachdem das Gleichgewicht durch das successive Zerreißen der Drähte auf den Rähmen abwechselnd zerstört oder wiederhergestellt ist. Um dieses Resultat zu erhalten, ist es nöthig, daß der Widerstand der verschiedenen Drähte in gehöriges Verhältniß gebracht worden sey.

Schließlich füge ich noch hinzu, daß die Anwendung meines elektro-magnetischen Telegraphen, um damit die Zahl der Umdrehungen einer Maschine oder irgend einer anderen periodischen Bewegung aus der Ferne zu registriren, schon seit mehreren Jahren von mir unter sehr verschiedenartiger Form ausgeführt worden ist. Einen Apparat dieser Art, der bis auf zehn (engl.) Meilen registriert, sieht man seit 1840 im physikalischen Cabinet des *Kings-College*, und ich zeigte ihn Hrn. v. Konstantinoff während seines Aufenthalts in London¹⁾.

XV. Von den Gesetzen der elektro-chemischen Zersetzung; von Hrn. E. Becquerel.

(*Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. XI, p. 162 et 257.*)

Freier Auszug.

Faraday hat gezeigt, daß wenn ein und derselbe elektrische Strom durch Auflösungen verschiedener Metalle geleitet wird, die an den negativen Polen abgeschiedenen

- 1) Obiger, für Hrn. Breguet eben nicht schonend geschriebener Aufsatz hat von Seiten Dieses zu einer Erwiderung Anlaß gegeben, aus der wir hier nur den Umstand hervorheben wollen, daß derselbe sagt, er habe Hrn. Wheatstone, als er sich im December 1844 in Paris aufgehalten, eine detaillirte Zeichnung von seiner Maschine gezeigt, ohne daß der englische Physiker sich irgend wie eine Bemerkung erlaubte (*Compt. rend. T. XX, p. 1712*). Wir können natürlich in dieser Angelegenheit keinen Urtheilsspruch wagen; es scheint uns indeß, daß wenn Hr. v. Konstantinoff ein Recht hatte, eine von Hrn. Wheatstone angeregte Maschine anfertigen zu lassen, auch

Metallmengen im Verhältniß der chemischen Aequivalente stehen. Zugleich stellt er es als Grundsatz auf, daß unter den verschiedenen Verbindungen, die zwei Elemente mit einander eingehen können, nur diejenige vom Strom zersetzt werde, die aus gleich viel Aequivalenten von jedem besteht (daß »die elementaren Ionen nur in gleich viel elektro-chemischen Aequivalenten, und nicht in Multiplis derselben zu den Elektroden gehen können«)¹⁾.

Späterhin, im J. 1839, hat es Matteucci durch ein Paar flüchtige Versuche wahrscheinlich gemacht²⁾, daß dieser Satz nicht allgemein sey. Er unterwarf Antimonchlorid, Kupferchlorür und Kupferchlorid, das erstere in geschmolzenem Zustand, die beiden anderen (weil sie, geschmolzen, das ausgeschiedene Metall angreifen) respective in Salzsäure und Wasser gelöst, successiv der Wirkung eines Stroms, in dessen Bahn zugleich ein Voltameter eingeschlossen war. Er fand, daß nicht nur alle drei Verbindungen zersetzt wurden, sondern auch, daß, gegen ein Aequivalent Wasser, respective $\frac{1}{3}$ Aeq. Antimon, 2 und 1 Aeq. Kupfer niedergeschlagen ward.

Diese Angaben haben Herrn Becquerel jun. zu einer weiteren Verfolgung des Gegenstandes Anlaß gegeben.

Das dazu angewandte Verfahren war folgendes: In ein Paar Fällen wurde die zu zerlegende Substanz im

Hrn. Breguet kein Vorwurf daraus erwachsen kann, die Ausführung übernommen zu haben. Ein Anderes mag es seyn mit der Frage über die Veröffentlichung der Beschreibung; allein diese wurde durch einen analogen Aufsatz des Hrn. Pouillet veranlaßt; und Hrn. Pouillet, wenn er auch ganz unabhängig auf die Idee seines Zeitmessers verfallen seyn sollte, ist wenigstens vorzuwerfen, daß er, der doch Hrn. Wheatstone's Zeichnungen gesehen hat (S. 453), mit keiner Sylbe desselben erwähnt, während Hr. Breguet der Verdienste des englischen Physikers in allen Ehren gedenkt (vergl. Ann. Bd. 64, S. 452 und 459).
P.

1) S. Ann. Bd. 33, S. 498.

2) *Bibl. univers. Ser. Nouv. T. XXI, p. 153.*

geschmolzenen Zustande angewandt, in einem Tiegel, in welchen beide Elektroden hinabreichten. In den meisten Fällen wurde sie indess in einer schicklichen Flüssigkeit gelöst, und dann befand sie sich in zwei durch einen Heber verbundenen Gefäßen, deren jedes eine der Elektroden aufnahm. Die negative Elektrode war insgemein von Platin, die positive bald von diesem, bald von jenem Metall. War die Lösung von der Art, daß sie durch die Luft eine Zersetzung erlitt, so stand sie unter einer Glocke mit Hahn, die ausgepumpt oder mit einer unschädlichen Gasart gefüllt werden konnte, und durch zwei seitliche Durchbohrungen die Verbindungsdrähte durchliefs; letztere reichten in Quecksilbernäpfe hinab, die mit den Elektroden verknüpft waren¹⁾. Aufser diesem Zersetzungsapparat war ein Voltameter in die Bahn des Stroms eingeschaltet, der gewöhnlich durch eine kleine Batterie von 30 schwach geladenen Elementen hervorgebracht ward. Meistens wurden während der Metallfällung 0,5 bis 2,0 C. C. Gas pro Minute im Voltameter entwickelt. Aus dem Volum desselben wurde die zersetzte Wassermenge berechnet, dabei angenommen, daß 1 Kubikcentm. Knallgas bei 0° und 0^m,76 = 0,537 Milligrammen Wasser sey.

Zuvörderst wurden binäre Verbindungen und zwar *Chlormetalle* untersucht. Nachstehendes waren die Resultate einer ersten Reihe.

		Gelöst in	Zersetztes Wasser. Millgrm.	Gefälltes Metall berechnet. gefunden. Millgrm.
Zinnchlorür	Sb Cl ₂	Wasser	3,81	24,9 25,0
Silberchlorid	Ag Cl ₂	Ammoniak	1,29	15,5 16,5
Eisenchlorür	Fe Cl ₂	Wasser	1,5	4,6 5,0
Kupferchlorür	Cu ₂ Cl ₂	Salzsäure	1,93	6,78 13,5
Antimonchlorid	Sb Cl ₃	dito	11,0	78,8 51,5
dito zweiter Versuch		dito	1,29	9,2 6,0

1) Zweckmäßiger wäre es wohl, die Verbindungsdrähte durch den Teller gehen zu lassen. Man kann dann, ehe man die Glocke darüber

Die Rechnungen in der 4ten Spalte sind, mit Zugrundlegung der Berzelius'schen Atomgewichte, unter der Voraussetzung geführt, daß die gefällte Metallmenge der zersetzten Wassermenge äquivalent sey.

Diese Voraussetzung zeigt sich nur bewährt bei den drei ersten Verbindungen oder bei denen von der Form RCl_2 . Dagegen gab das Kupferchlorür, eine Verbindung von der Form R_2Cl_2 , zwei Mal so viel, und das Antimonchlorid, eine Verbindung von der Form RCl_3 , zwei Drittel so viel (nicht ein Drittel so viel, wie Matteucci gefunden) als es jene Voraussetzung haben will.

Das letztere Resultat bestätigte sich auch einigermaßen bei einem Versuch mit geschmolzenem Antimonchlorid; doch wurden dabei nicht ganz $\frac{2}{3}$ Äquivalent Antimon erhalten, weil das fließende Chlorid ein Theil des gefällten Metalls löste.

Reducirt man den Metallgehalt obiger drei Arten von Chloriden auf einen gleichen Chlorgehalt, so sieht man, daß sie auf Cl_2 respective enthalten: 1, 2 und $\frac{2}{3}$ Aeq. Metall. In demselben Verhältniß standen die gefällten Metallmengen. Daraus geht also hervor, daß in allen jenen Fällen eine gleiche Menge Chlor, nämlich Cl_2 , gegen 1 Aeq. zersetzten Wassers, zum positiven Pole geführt, auftrat.

Dieses Gesetz erhielt eine fernere Bestätigung durch folgende Versuchsreihe, bei welcher das Verfahren in so fern verschieden war, als dabei nicht das gefällte Metall, sondern das ausgeschiedene Chlor bestimmt ward, und zwar durch den Verlust, welchen die aus Kupfer bestehende positive Elektricität erlitt.

setzt, den Apparat vollständig aufbauen, und ist der unbequemen Quecksilbernäpfe überhoben. P.

Chlormetall.	Gelöst in	Kupferver- lustd. posi- tiven Elek- trode. Millgrm.	Ausgeschiedene Chlor		Zeretztes Wasser. Millgrm.
			gefunden.	berechnet.	
			Millgrm.		
Kupferchlorid Cu Cl ₂	Wasser	23	12,9	11,1	2,83
Eisenchlorid Fe Cl ₃	dito	18	10,0	9,2	2,34
Zinnchlorid Sn Cl ₄	dito	16	9,0	9,2	2,34
Antimonhyper- chlorid Sb Cl ₅	Weinsäure- lösung.	24	13,2	13,5	3,44

Das in der Voraussetzung einer Aequivalenz mit dem Wasser berechnete Chlor stimmt hier in allen Fällen mit dem beobachteten, obwohl nur eine der Verbindungen, das Kupferchlorid, zu gleichen Aequivalenten aus den Bestandtheilen zusammengesetzt ist.

Jod- und Brommetalle führten zu demselben Resultat, doch giebt Hr. B. darüber keine Details.

Dagegen zeigt er wieder speciell an *Oxyden* die Richtigkeit des obigen Satzes. Er löste *Kupferoxydul* und *Kupferoxyd*, jedes für sich, in Ammoniakflüssigkeit, und verschloß die Flasche luftdicht mittelst eines Korks, der die positive Kupfer- und die negative Platinelektrode hindurchliefs. Zugleich mit einer dieser Lösungen war in den Kreis der Kette, die nur aus einem Zink-Kupfer-Element bestand, eine Lösung von salpetersaurem Kupferoxyd eingeschaltet, die als Voltameter diente. Diese Versuche, deren jeder mehrere Stunden dauerte, gaben folgende Resultate.

		Ausgeschiedenes Metall	
		im Voltameter.	in der Ammo- niakflüssigkeit.
		Millgrm.	
Kupferoxydul	Cu_2O	15,	30
dito zweiter Versuch		2,5	5
Kupferoxyd	Cu O	106	107

Die letzte binäre Verbindung, welche Hr. B. untersuchte, war das *oxydirte Wasser*. Er bestimmte dabei nur den Sauerstoff, indem der Wasserstoff, da er sich theilweise mit dem Sauerstoff dieser Verbindung wieder zu Wasser vereint, keine genaue Bestimmung zulässt. Als positive Elektrode diente ein Platindraht, der bis auf ein kleines Stück in eine J-förmige Röhre eingeschmolzt war, also nur mit diesem Stück die Flüssigkeit berührte, und von einer kleinen graduirten Glocke überstülpt war. Ein Trogapparat von 30 schwach geladenen Elementen lieferte den Strom, in dessen Kreis zugleich ein Voltameter eingeschaltet war. So entwickelten sich folgende Gasmengen:

	Oxydirtes Wasser.	Gewöhnliches Wasser.	
	Sauerstoff.	Sauerstoff.	Wasserstoff.
Erster Versuch	18,5 Vol.	9,3 Vol.	18,6 Vol.
Zweiter Versuch	26,0 -	13,2 -	26,3 -

Hier scheint das obige Gesetz nicht Stich zu halten, da von dem negativen Element (Sauerstoff) doppelt so viel aus dem oxydirten Wasser als aus dem gewöhnlichen entwickelt worden war; diese Thatsache glaubt indess Hr. B. auf folgende Art erklären zu können.

Er nimmt an, das oxydirte Wasser sey ein Sauerstoffhydrat, entsprechend der Formel $H^2O + O$, und es werde zersetzt, wie es Daniell für die wasserhaltige Schwefelsäure $= H_2O + SO_3$ annimmt¹⁾. Wie man bei

- 1) Der Verf. sagt, Daniell habe beobachtet, dass wenn man die Zersetzungsstelle durch eine Scheidewand theile, und nur einen schwachen Strom anwende, *keine Gasentwicklung* stattfinde, und blofs Schwefelsäure zum positiven Pol geführt werde. Es ist mir nicht bekannt, dass (der leider kürzlich der Wissenschaft durch den Tod entrissene) Daniell diese Beobachtung gemacht, wohl aber die, dass Wasserezersetzung und Säurefortführung (wenigstens bei gehöriger Stromstärke) gleichzeitig erfolgen, jedoch nicht in äquivalenten Mengen, sondern in dem Verhältniß von 1 Aeq. zu $\frac{1}{4}$ Aeq. (S. Ann. Ergänzungsband, S. 573.)

P.

dieser am positiven Pol H_2 und am negativen $SO_3 + O$ erhalte, so zerfalle das oxydirte Wasser in H_2 und $O + O$, d. h. O_2 . Wenn übrigens diese Erklärung nicht richtig sey, fügt er hinzu, so bilde das oxydirte Wasser die einzige Ausnahme von dem oben aufgestellten Gesetz.

Hr. B. geht nun zu den *Salzen der Metalloxyde* über. Die aus gleichen Aequivalenten Säure und Base bestehenden geben bekanntlich an den respectiven Polen 1 Aeq. Metall und 1 Aeq. Sauerstoff (außer Säure), dabei dem Faraday'schen Gesetze folgend, wonach das Metall aequivalent ist dem Wasserstoff des zugleich in der Kette zersetzten Wassers.

Hr. B. hält dafür, es sey am wahrscheinlichsten, daß diese Salze die Zusammensetzung $AO + R$ haben (wo A die Säure und R das Metall bedeutet), und bei ihrer Elektrolysirung das R an dem einen Pol auftrete, das AO dagegen an dem andern, woselbst es dann in A und O zerfalle').

Er vermuthete, diese Ansicht liefse sich auch auf jedes Oxydulsalz übertragen; es würde $AO + R_2$ seyn, während ein Oxydsalz desselben Metalls die Zusammensetzung $AO + R$ hätte; und darnach stände zu erwarten, daß bei der Elektrolyse das erstere doppelt so viel Metall am negativen Pol absetzte als letzteres.

Und wirklich fand Hr. B. dieses bestätigt. Er nahm eine Auflösung von *unterschwefligsaurem Kupferoxydul* (bereitet, bei Ausschluss der Luft, durch Digestion von kohlensaurem Kupferoxyd mit einer Lösung von unterschwefligsaurem Natron), und brachte sie nebst einer Lösung von salpetersaurem Kupferoxyd in den Kreis einer schwach geladenen Kette. Die negativen Elektroden waren von Platin, die positiven von Kupfer. Nach einigen Stunden waren gefällt:

- 1) Das ist bekanntlich eine Ansicht, die zuerst von Daniell aufgestellt und durch zahlreiche Versuche unterstützt worden ist. S. Ann. Ergänzungsbd. S. 583.

Oxyd aus dem Oxydulsalz 53 Millgrm. Kupfer
Oxydsalz 26

Ähnlich wie die Oxydulsalze verhalten sich *basische Salze*. Hr. B. wählte die beiden von Péligot entdeckten *untersalpetersauren Salze*, die bei Reaction von Blei auf salpetersaures Bleioxyd entstehen ¹⁾, und im krystalisirten Zustande die Zusammensetzung haben:

Gelbes untersalpeters. Salz = $N_2 O_4 + 2PbO + H_2 O$

Roths = $2N_2 O_4 + 7PbO + 3H_2 O$.

Sie wurden in siedend heißem Wasser gelöst, ihre Lösungen durch ein Wasserbad nahe auf 100° erhalten, und dann nebst einem Voltameter in den Kreis eines Trögapparats von 30 schwach geladenen Elementen gebracht. Die Resultate waren folgende:

	Zersetztes Wasser. Millgrm.	Gefälltes Blei.	
		gefunden.	berechnet.
		Millgrm.	
Gelbes Salz, 1ster Vers.	3,44	82	39,6
dito 2 - -	1,5	35	17,25
Roths Salz, 1 - -	3	120	34,5
dito 2 - -	1,074	42	12,55

Die berechnete Bleimenge ist die, welche dem zersetzten Wasser aequivalent seyn würde. Man sieht, diese ist beim gelben Salz die Hälfte, und beim rothen nur $\frac{1}{3}$ von der wirklich gefundenen, ganz wie es nach der Voraussetzung seyn muß.

Die positive Elektrode war hier von Platin; es ändert sich indess nichts wesentlich, wenn man sie von Blei nimmt. Es löst sich dann ein Theil derselben, aber nicht respective 2Pb und 3,5Pb, sondern weniger, weil kein

1) *Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. II, p. 87.* Die Salze entstehen auch, nach Becquerel sen., wenn man Massicot oder Bleihyperoxyd mit einer Lösung von salpetersaurem Bleioxyd übergießt und eine Bleiplatte hineinstellt. Nach einem Monate oder mehr findet sich dann diese Platte überzogen mit Krystallen des gelben und des rothen Salzes.

untersalpetersaures Salz wieder gebildet wird, sondern salpetersaures entsteht.

Nach diesen Resultaten nimmt Hr. B. an, daß die untersalpetersauren Salze direct vom Strom zersetzt werden, und zersetzbarer als das Wasser seyen.

Nicht so verhält es sich nach ihm mit den *essigsau- ren Bleisalzen*. Unter der großen Zahl von Salzen dieser Art elektrolysirte er das *neutrale*, das *tri-* und das *se- basische*. Alle leiteten gut, und gaben ihm, gegen 1 Aeq. zersetzten Wassers, 1 Aeq. metallisches Blei an der negativen Elektrode gefällt, und 1 Aeq. Metall von der positiven Bleielektrode gelöst. Er erklärt dies Resultat durch die Annahme, daß das Wasser zersetzbarer sey als diese Salze, daß der Wasserstoff am negativen Pol das Bleioxyd reducire, und der Sauerstoff am negativen Pol Bleioxyd bilde, welches sich in dem Acetat löse.

Dieses letztere Resultat widerspricht Hrn. Matteucci, der bei Elektrolysirung des tribasischen Salzes nur $\frac{2}{3}$ Aeq. metallisches Blei erhalten haben will¹⁾. Hr. B. bemerkt indess, daß das von demselben angewandte Salz, da es durch Schmelzen des neutralen, bis es an den Rändern des Gefäßes stand, bereitet wurde, nicht rein war, sondern ein Gemenge vieler Salze darstellte.

Nach allen diesen Thatsachen stellt Hr. B. den Satz als erwiesen hin: daß, wenn eine binäre oder ternäre Verbindung durch den elektrischen Strom direct zersetzt wird, die Zersetzung in der Weise erfolge, daß für 1 Aeq. Elektricität (das heißt für die Elektricitätsmenge, welche 1 Aeq. Wasser zersetzt) 1 Aeq. des elektro-negativen Elements oder des sauren Bestandtheils der Verbindung sich zum positiven Pol begiebt, und die entsprechende Menge des elektro-positiven Elements oder basischen Bestandtheils zum negativen²⁾.

1) *Bibl. univers. Ser. Nouv. T. XXI, p. 153.*

2) Davon würde aber, nach Hrn. B's. eigener Erfahrung, das oxydirte Wasser eine Ausnahme bilden, falls man nicht seine Hypothese über

Schließlich mag hier noch bemerkt seyn, daß Hr. B. neben verschiedenen, mit dem Hauptgegenstand seiner Untersuchung nur locker zusammenhängenden Betrachtungen auch, als ein aus den Versuchen mehrer Physiker hervorgehendes Resultat, den Satz aufstellt: daß, wenn ein Gemenge von zwei Metallsalzen elektro-chemisch zersetzt wird, sich Gewichte $n' n''$ von beiden Metallen niederschlagen, die zu dem Gewichte n des aus einer andern, sich gleichfalls in dem Strom befindlichen Lösung gefällten Metalls in der Beziehung stehen:

$$\frac{n}{e} = \frac{n'}{e'} + \frac{n''}{e''},$$

wo e, e', e'' die Aequivalente der drei Metalle bezeichnen. Er selbst liefert indess keine Beweise für die Richtigkeit dieses Satzes.

XVI. Ueber die Ursache der Reduction von Metallen aus den Lösungen ihrer Salze durch den galvanischen Strom;

von Hrn. Alfred Smee.

(Philosoph. Mag. Ser. III, Vol. XXV, p. 434. Freier Auszug.)

Ueber den Vorgang bei elektro-chemischer Zersetzung der Metalllösungen haben sich bekanntlich im Laufe der Zeit zweierlei Ansichten ausgebildet.

Nach der einen, und zwar der älteren, wirkt der elektrische Strom nur zerlegend auf das Wasser, und

diese Verbindung theilen will, und überhaupt wäre die Frage, ob nicht saure Salze und analoge Verbindungen mehre solcher Ausnahmen liefern könnten. Es würde indess wahrscheinlich immer der Satz bestehen bleiben, der auch schon die von Hrn. B. gemachten Erfahrungen einschließt, daß, bei Gleichheit der Stromstärke, für jedes Aequivalent Wasser auch ein Aequivalent irgend welcher Verbindung zersetzt wird, sobald dieselbe überhaupt nur zersetzbar ist. *P.*

der dabei ausgeschiedene Wasserstoff ist es, der im Entstehungszustand das Metall aus seiner Lösung reducirt.

Nach der anderen, die neuerlich von Daniell aufgestellt worden, wird die Metallreduction, und überhaupt die Salzzersetzung, direct von dem Strom bewirkt, und die Wasserzersetzung ist ein daraus hervorgehender secundärer Proceß¹⁾.

Hr. Smee beabsichtigt, zu zeigen, daß die ältere Ansicht die richtige sey²⁾, oder vielmehr, daß ein früherer Einwurf von Hisinger und Berzelius³⁾, als könne die Wasserzersetzung darum nicht das Primäre seyn, weil Metalle wie Zink und Eisen nicht aus ihren Lösungen durch Wasserstoff reducirt werden, was doch der elektrische Strom thut, sich beseitigen lasse. Er hat zu dem Ende eine Reihe von Versuchen angestellt, die jedenfalls viel Interesse besitzen.

Zunächst nahm er wohlgebrannte Holzkohle oder Zinder, und löschte sie rothglühend in verdünnter Schwefelsäure. In diesem Zustand übte sie keine Wirkung auf Metalllösungen aus. Nun verband er sie, in Schwefelsäure, mit dem negativen Pole einer Volta'schen Batterie. Sie belud sich dadurch mit Wasserstoffgas, was daraus hervorging, daß dasselbe erst einige Zeit nach dem Schluß der Kette an derselben entwich. Als jetzt die Kohle in Lösungen von Gold, Silber, Kupfer u. s. w. (aber doch nicht von Zink, Eisen u. s. w. *P.*) getaucht wurde, bekleidete sie sich augenblicklich mit einem glänzenden Metallüberzug. Coke, beladen mit Wasserstoffgas, behielt diese Eigenschaft noch mehrere Tage nach dieser Zubereitung.

Hr. Smee sieht dieß als einen Beweis an, daß Wasserstoff wirklich Metalle aus ihren Lösungen redu-

1) Ann. Ergänzb. S. 583, und Bd. 64, S. 18.

2) Wie neuerlich auch A. Connell versucht hat. Ann. Ergänzb. S. 590.

3) Ann. de chim. (1804) T. LI, p. 174.

ciren könne. Um diesen Beweis zu vervollständigen, machte er folgende Reihe von Versuchen.

Er nahm eine etwas weite und an einem Ende zugeblasene Glasröhre, füllte sie mit einer Metalllösung, steckte einen platinirten Platinstreifen hinein ¹⁾ und kehrte sie nun in einer mit derselben Lösung gefüllten Schale um. Endlich liefs er so viel Wasserstoffgas in die Röhre treten, dafs der Platinstreifen etwa zur Hälfte in dem Gase, zur Hälfte in der Flüssigkeit stand.

Das Resultat dieser Anordnung war, dafs sich das Platin, unter Abnahme des Wasserstoffgases, mehr oder weniger schnell mit einem Ueberzug von dem in der Flüssigkeit enthaltenen Metall bekleidete.

Solches war der Fall mit Lösungen von Chlorplatin, Chlorgold, Chlorpalladium, salpetersaurem Silberoxyd, schwefelsaurem Kupferoxyd, Zinnchlorür und auch, freilich ohne Metallausscheidung, aber doch mit entsprechender Reduction, mit dem schwefelsauren Eisenoxyd (zum Oxydulsalz) und mit Salpetersäure (zu salpetriger Säure); schwefelsaures Eisenoxydul und Jodwasserstoffsäure dagegen blieben unverändert.

Palladinirtes Platin verhielt sich in schwefelsaurem Kupferoxyd wie das platinirte, Silber im schwammförmigen Zustand eben so, im blanken aber nicht, und Kupfer war in allen Gestalten wirkungslos.

Hr. Smee versuchte auch, statt des Platinstreifens einen Streifen Fließpapier in zuvor beschriebener Weise anzuwenden; allein er war ohne Wirkung auf Gold-, Silber- und Kupferoxydlösung, und reducirte nur schwefelsaures Eisenoxyd zum Oxydulsalz.

Aus den positiven Resultaten der obigen Versuche schliesst Hr. Smee, dafs der Wasserstoff wirklich das Vermögen habe, Metalle aus ihren Lösungen zu reduciren, und dafs demnach die ältere Ansicht von der elektrochemischen Zersetzung die richtige sey.

1) S. Ann. Bd. 61, S. 593.

Zur Stütze dieser Ansicht beruft er sich noch auf einen Versuch, wo er Kupfervitriollösung in einem hohen Glase mittelst Kupferelektroden zersetzte, und zwar so, daß die negative oben, und die positive unten befindlich war. Er sah nun an ersterer Kupfer sich ausscheiden, anfangs in compacter, später in schwammförmiger Gestalt, dann Wasserstoff entweichen, während die oberen Schichten der Flüssigkeiten sich allmählig vollständig entfärbten, und die untere positive Elektrode sich mit einer dicken Lage Kupferoxyd überzog. Er schließt daraus, daß das Metall nicht vom positiven Pol zum negativen Pol geführt werde, und daß die Fortführung der Säure in entgegengesetzter Richtung auch nur unvollkommen sey, und eben darin glaubt er seine Ansicht bestätigt zu finden.

Zusatz. Ohne hier die Frage über die Ursache der elektro-chemischen Zersetzung, oder die damit zusammenhängende, ob Wasserstoff, im Entstehungszustande, Metalle aus ihren Lösungen zu reduciren vermöge, in ihrem ganzen Umfange erörtern zu wollen, kann ich doch nicht umhin zu bemerken, daß die zweite Klasse der von Hrn. Smee angestellten Versuche in Bezug auf die letztere Frage nicht die Beweisfähigkeit besitzt, die er ihr beilegt.

Hr. Smee glaubt, oder scheint wenigstens zu glauben, daß die Reduction, welche erfolgt, wenn eine Platinplatte theilweis in einer Metalllösung, theilweis in Wasserstoffgas steht, lediglich Folge einer rein chemischen Wirkung des letzteren sey. Dem ist aber sicher nicht so. Die Reduction ist Folge eines galvanischen Processes, der Wirkung einer Kette, in welcher der das Wasserstoffgas berührende Theil des Platins das positive, und der in der Flüssigkeit stehende das negative Element ist. Es läßt sich dieses schon aus Hrn. Smee's eignen Versuchen abnehmen, in so fern sie darthun, daß es hiebei nicht allein auf das Wasserstoffgas ankommt, sondern wesentlich auch auf das hineingestellte Metall. Kupfer,

das im Wasserstoff nicht so positiv wird wie Platin, erweist sich auch wirkungslos.

Noch mehr glaube ich mich zu dem eben gethanen Ausspruch berechtigt durch eine schon vor längerer Zeit über die Grove'sche Gassäule angestellte Untersuchung, welche ich, sobald mir hinreichende Mufse zu ihrer Vollendung gegönnt ist, bekannt zu machen gedenke. Als eins der durch sorgfältige Messungen ermittelten Resultate derselben will ich hier nur erwähnen, dafs ein, und zwar hauptsächlich Grund der relativ grofsen Schwäche des Stroms jener Gassäule in Bezug auf den einer sogenannten Ladungssäule darin liegt, dafs bei der ersten Säule jede Platte eines Paares, und namentlich die vom Wasserstoff berührte, schon für sich eine geschlossene Kette darstellt, ganz in der eben angegebenen Weise, was denn zur Folge hat, dafs bei Schliessung eines solchen Paares oder einer Reihe solcher Paare nur ein Neben- oder Zweigstrom zur äufseren Wirkung gelangt.

Der zuletzt von Hrn. Smee beschriebene Versuch kann wenigstens nicht auf Neuheit Anspruch machen. Er ist bereits, mit mehren ähnlichen, von Daniell angestellt und ausführlich besprochen (Ann. Bd. 64, S. 39), zum Theil auch von A. Connell (Ann. Ergänzungsbd. S. 591), und noch früher von L. Gmelin (Ann. Bd. 44, S. 30).

Trotz dem scheinen die aus diesen Versuchen hervorgehenden Thatsachen wenig bekannt geworden zu seyn, denn noch ganz kürzlich hat Pouillet eine ähnliche als neu hingestellt (*Compt. rend.* vom 26. Mai d. J.), und sogar eine neue, etwas seltsame Theorie der Elektrochemie darauf begründet.

Er gofs Goldlösung in eine U-förmige Röhre, die in der Krümmung etwas verengt war, und in den weiteren Schenkeln die Elektroden aufnahm. Nachdem der Strom eine genügende Zeit hindurch geleitet war, fand er die Lösung in dem negativen Schenkel fast ihres Goldes be-

raubt, die in dem positiven Schenkel dagegen noch mit ihrem ursprünglichen Goldgehalt versehen.

Daraus schließt er, »dafs bei der Zersetzung des Goldchlorids (und somit aller Metallsalze), der positive Pol ohne zersetzende Wirkung bleibe, alle chemische Macht dagegen im negativen Pol liege, dafs dieser das Gold aufnehme, und das Chlor durch eine Reihe successiver Zersetzungen und Wiederherstellungen dem positiven Pol zur Entwicklung zusende.« Wenn beide Pole wirkten, setzt er hinzu, so würde das am negativen Pol ausgeschiedene Metall zweierlei Ursprungs seyn; die eine Hälfte wäre daselbst direct gefällt, und die andere käme vom positiven Pol her; beide Schenkel der Röhre würden dann während der ganzen Dauer des Processes in gleichem Grade ärmer an Gold werden müssen.

Hätte Hr. Pouillet die Abhandlung von Daniell oder Gmelin gelesen, so würde er gefunden haben, dafs diese Ansicht den Thatfachen geradezu widerspricht, denn Kali und Natronsalze werden am positiven Pol zersetzt, ohne dafs ihre Lösungen mit dem negativen Pol in Berührung kommen. Dafs diefs mit den Metall- und Erdsalzen nicht geschieht, wird sicher viel einfacher, als nach Hrn. P., durch den von Gmelin und Daniell aufgestellten Satz erklärt, dafs die bisher hypothetisch ziemlich allgemein angenommene Ueberführung von Pol zu Pol entweder gar nicht, oder nur für wenige Stoffe stattfindet. Und wenn man dieses zugiebt, wenn man z. B. für den von Hrn. Pouillet behandelten Fall annimmt, dafs blofs das Chlor, und nicht das Gold, einer solchen Ueberführung fähig sey, so kann man die Zersetzungs-kraft eben so wohl dem positiven als dem negativen Pol, als, was schon an und für sich viel wahrscheinlicher ist, beiden Polen beilegen; das Resultat wird dadurch nicht geändert.

Schließlich noch eine Bemerkung. Herr Pouillet sagt, er habe bei seinen Versuchen alle porösen Scheide-

wände vermieden, weil sie zu einer die Resultate störenden Endosmose Anlaß geben, und weil sich in ihnen die Flüssigkeiten bedeutend erhitzen. Was letzteren Punkt betrifft, so scheint mir, als habe Hr. Pouillet mit übermäßig und ganz unnöthig starken Strömen gearbeitet. Er spricht von Batterien von 50 Bunsen'schen Elementen; ich glaube behaupten zu können, daß man mit 2 bis 3 solchen Kohlen- oder ähnlichen Platinelementen vollkommen ausreicht, um alle von dem französischen Physiker beobachteten Resultate wohl ausgeprägt zu erhalten. — Ueberdies zeigen die Daniell'schen Versuche, daß poröse Scheidewände noch bei bedeutend starken Strömen keinen Nachtheil mit sich führen; und wie ohne sie eine strenge Sonderung und quantitative Untersuchung der von beiden Polen berührten Theile der Flüssigkeit möglich sey, ist mir nicht recht einleuchtend. *P.*

XVII. *Beschreibung einer großen Wasserbatterie und der damit angestellten Versuche;*
von John. P. Gassiot.

(*Philos. Transact. f. 1844, pl. I, p. 39. Freier Auszug*)

Herr Gassiot hat die kostspielige und äußerst mühsame Arbeit unternommen, eine mit bloßem Wasser geladene Volta'sche Batterie von nicht weniger als *drei tausend fünf hundert und zwanzig* Paaren zu errichten, hauptsächlich, um die Wirkung eines solchen Apparats im ungeschlossenen Zustande kennen zu lernen. Die Metalle bestanden aus Kupfercylindern und Zinkstäben, die paarweise in Glasbecher gestellt waren. Zur Ladung diente Regenwasser. Die 3520 Gläser standen auf 44 eichenen Brettern, die zu 11 von 4 starken Ständern

nach Art eines Bücherbords getragen wurden. Besondere Sorgfalt ward auf die Isolirung des Apparats verwandt. Zunächst waren die Gläser mit Lackfirnis überzogen; sie standen unmittelbar auf Glasplatten, die in der Wärme auf beiden Seiten einen ähnlichen Firnisüberzug erhalten hatten, und endlich waren auch die Bretter des Gestells gefirnist. Trotz aller dieser Vorichtsmaafsregeln war dennoch die Isolation nur unvollkommen, und der Verf. selbst bemerkt daher, dafs sein Apparat schon im ungeschlossenen Zustande eigentlich ein theilweis geschlossener gewesen sey.

Die mit dieser riesenhaften Batterie erlangten Resultate sind, wie es auch der Verf. zugiebt, in der Hauptsache nicht neu, aber sie zeigen die bekannten Thatsachen in einem grofsen Maafsstabe.

Diefs gilt namentlich von den Spannungserscheinungen im ungeschlossenen Zustande der Batterie. Ein Goldblatt-Elektroskop divergirte schon, wenn es einem der Pole bis auf zwei oder drei Zoll genähert wurde; so wie man die Batterie schlofs, war jedes Zeichen von Spannung verschwunden. Eine Leidner Flasche, in der Hand gehalten, konnte mit Leichtigkeit geladen werden, und noch gröfser war der Effect mit einer Leidner Batterie von 12 Flaschen, jede mit 16 Quadratfufs Belegung.

Eine Abtheilung der Batterie, aus 160 Bechern bestehend, wurde besonders gut isolirt, indem man sie auf gefirnisste Glasfüsse stellte, die auf einem noch warmen Arnold'schen Ofen standen. Zwei Elektroskope wurden mit den Polen dieser kleinern Batterie verknüpft. Beide divergirt; als Hr. G. darauf den einen Pol mit der Hand berührte, fiel das daneben befindliche Elektroskop zusammen, während das andere stärker divergirte. Mehrere Secunden vergingen, ehe das berührte Elektroskop seine Divergenz wieder bekam.

Als die Pole der ganzen Batterie einander bis auf $\frac{1}{30}$ Zoll genähert wurden, schlugen unausgesetzt Funken

zwischen ihnen über. In einem Fall dauerte dießs Phänomen ununterbrochen Tag und Nacht fünf Wochen lang; noch mehre Monate nach ihrer Errichtung zeigte die Batterie keine Abnahme ihrer Kraft.

Trotz der starken Spannungserscheinungen war, so lange die Batterie ungeschlossen blieb, weder mit einem sehr empfindlichen Galvanometer, noch mit Jodkalium-Papier, die allergeringste Spur von einem Strom zu entdecken. Aus der unveränderten Beschaffenheit des Jodkalium-Papiers schließt Hr. G., daß auch in der Batterie keine chemische Action statt hatte, und diese folglich nicht die Ursache der Spannungserscheinungen seyn konnte. Er wagt es indessen nicht, sich offen gegen die chemische Theorie auszusprechen.

In einem Versuche, wo er ein Galvanometer und Drähte, die Jodkalium-Papier berührten, mit der Batterie verbunden hatte, näherte er deren Pole einander so weit, daß etwa jede Secunde ein Funke überschlug; jedesmal, wenn dieß geschah, gerieth die Magnetnadel in eine zitternde Bewegung. Brachte er die Pole noch dichter zusammen, so daß die Entladungen schneller erfolgten, so wurde die Nadel stetig abgelenkt, und zugleich Jod an einem der Drähte abgeschieden.

Eine Abtheilung der Batterie, aus 320 Bechern bestehend, wurde, wie vorhin, auf's Beste isolirt, und ihre Pole mit Drähten verknüpft, die auf Jodkalium-Papier lagen. Auch wurde einer der Pole durch einen Draht mit dem Erdboden verbunden. Das Papier zeigte in mehreren Stunden nicht die geringste Veränderung. So wie aber der andere Pol ebenfalls mit dem Erdboden in Gemeinschaft gesetzt ward, sey es durch einen Draht oder die Hand des Beobachters, so erfolgt eine Ausscheidung von Jod.

Aehnliche Versuche stellte Hr. G. mit einer Grove'schen Gassäule von 40 Plattenpaaren an¹⁾. Sie wirkte

1) Ann. Bd. 58, S. 202.

ungeschlossen stark auf ein Elektrometer; allein wiewohl er sie drei Monate so stehen liefs, war keine Spur von Abnahme der Gase, d. h. von einem chemischen Procefs, in dieser Batterie zu erblicken. Schon mit 9 Plattenpaaren war dieses Resultat deutlich zu erhalten.

Zuletzt hat noch Hr. G. die Spannung bei einer einfachen ungeschlossenen Grove'schen Zink-Platin-Kette nachgewiesen, und dabei das Platin positiv, das Zink negativ gefunden. Anfangs bediente er sich dazu einer Zamboni'schen Säule, späterhin eines Elektroskops, das dem Hare'schen nachgebildet ist. Dieses Elektroskop besteht aus einem Glaskölbchen, dessen Hals mittelst einer Fassung verschlossen ist. Durch diese geht isolirt ein senkrechter Metallstift, der unten, in dem Kolben, ein einfaches Goldblatt, und oben, aufserhalb, eine horizontale Kupferplatte trägt. Seitwärts, diametral einander gegenüber, hat der Kolben zwei Löcher mit Fassungen, um zwei horizontale Stifte durchzulassen, an deren jedem eine verticale Scheibe von etwa zwei Zoll Durchmesser sitzt. Diese Scheiben, zwischen denen das Goldblatt hängt, können einander näher oder ferner gestellt werden. Die Stifte, welche sie tragen, sind an den äufseren Enden mit Klemmschrauben versehen, um die Drähte aufzunehmen, die respective zu dem Zink und Platin der Kette führen. Letztere, die Kette, wird auf eine mit Lack überzogene Tafel gestellt. Nachdem die unteren Scheiben solchergestalt mit den Metallen der isolirten Kette verbunden sind, nähert man der oberen Platte langsam einen geriebenen Glasstab; es wird dann das Goldblatt von der mit dem Zink verbundenen Scheibe angezogen. Das Entgegengesetzte erfolgt mit einer geriebenen Siegellackstange.

XVIII. *Notiz.*

Elektro-chemische Zersetzung. — Ueber diese hat Hr. James Napier verschiedene Versuche angestellt, worunter einige beachtenswerth sind. Er füllte einen Zersetzungsapparat, der durch eine poröse Scheidewand in zwei Zellen getheilt war, mit einer Lösung von Cyankalium, stellte in beide eine Silberelektrode, und leitete den Strom einer Daniell'schen Batterie von 9 Plattenpaaren hindurch; er maß das an der negativen Elektrode entwickelte Wasserstoffgas, und wägte den Verlust der positiven. Immer fand er, daß mehr Silber von dieser gelöst ward, als dem Wasserstoff entsprach, und zwar desto mehr, je concentrirter die Lösung war. Auf 25 Kubikzoll entwickelten Wasserstoffgases betrug, wenn in 12 Unzen Wasser successive 400, 600, 800 Gran Cyankalium gelöst waren, der Silberverlust respective 62 ; 70,5 ; 85 Gran, d. h. 8 ; 16,5 ; 31 Gran mehr als dem Aequivalent des Gases entsprachen. Eben so verhielt es sich, als in der negativen Zelle Kupfervitriol, und in der positiven Cyankalium gelöst waren, die negative Elektrode aus Kupfer und die positive aus Silber oder Kupfer bestand. Von der positiven wurden beinahe 2 Aeq. Silber oder 3 Aeq. Kupfer gelöst, während sich an der negativen 1 Aeq. Kupfer niederschlug. Auch wenn er das Cyankalium der positiven Zelle durch Salzsäure ersetzte, wurde von der darin gestellten Kupferelektrode mehr Metall gelöst als an der negativen gefällt, und zwar desto mehr, je concentrirter die Säure war. Mit Schwefelsäure, statt der Salzsäure, war dieß nicht der Fall. — Hr. N. schreibt diese Erscheinungen einer durch den Strom erhöhten Lösekraft des Menstruums der positiven Zelle zu. (*Phil. Mag. Ser. III, Vol. 26, p. 211.* — Es möchten sich hier wohl niedere Verbindungsstufen gebildet haben, z. B. Kupferchlorür bei der Salzsäure. P.)